

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

**Testování vybraných flokulačních činidel při separaci tuhé
fáze z fugátu**

**Selected Flocculation Reagents Testing for a Separation of Solid
Phase in Gigestate**

diplomová práce

Autor:

Bc. Martin Kaňok

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kaňok**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: **Testování vybraných flokulačních činidel při separaci tuhé fáze z fugátu**
Selected Flocculation Reagents Testing for a Separation of Solid Phase in Digestate

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Problematika produkce digestátu jako konečného produktu anaerobní digesce v bioplynových stanicích
3. Charakteristika procesu flokulace, komerčně dostupné flokulanty.
4. Laboratorní testování vybraných flokulačních činidel při separaci tuhé fáze z fugátu
 - příprava vzorků fugátu odstřediváním odebraných vzorků digestátu
 - testování vybraných flokulantů při separaci tuhé fáze z fugátu
5. Vyhodnocení výsledků laboratorního testování činidel. Výběr vhodného činidla, optimální dávky a jejich laboratorní ověření včetně chemické analýzy produktů separace tuhé fáze z fugátu.
6. Diskuse a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

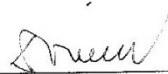
DOHÁNYOS, M., ZÁBRANSKÁ, J., JENÍČEK, P.: Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha 1996.
MALÝ, J., MALÁ, J.: Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno 2006.
CHUDOBA, J. DOHÁNYOS, M. WANNER, J.: Biologické čištění odpadních vod. 1. vyd. Praha 1991.
WANNER, J., HLAVÍNEK, P.: Moderní trendy v čištění odpadních vod. Brno: NOEL. 2000, 1997.
PITTER, P.: Hydrochemie, 4. vydání VŠCHT Praha, 2007.
MALÝ, J., HLAVÍNEK, P.: Čištění průmyslových odpadních vod, 1. Vydání, NOEL 2000, 1996.
STRAKA, F. et al. Bioplyn. 1. vyd. Říčany: GAS s.r.o. 2003.
HLAVATÁ, Miluše: Odpadové hospodářství, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, ISBN 978-80-248-0737-9/2007
Odborné publikace dostupné na WWW: <<http://biom.cz>>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

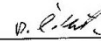
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možné navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 29.4.2014

Bc. Martin Kaňok

Poděkování

Děkuji Ing. Silvii Heviánkové, Ph.D. za cenné rady, pomoc a informace při vytváření této práce. Zároveň bych chtěl zde poděkovat všem svým blízkým za to, že mne podporovali během celého studia.

Anotace

Tato diplomová práce je rozdělená na teoretickou a praktickou laboratorní část. V první části se práce zabývá popisem anaerobní fermentace, při které vzniká mimo bioplynu také fermentační zbytek digestát, jehož separací odstředěním lze získat kapalnou složku, fugát a tuhý separát. Jsou zde uvedeny vlastnosti a současné možnosti nakládání s těmito fermentačními zbytky. V další teoretické části je popsána disperzní soustava, ze které se fugát skládá a popis stabilizačních a destabilizačních systému disperzní soustavy. Poslední část teoretické části se zabývá flokulačním procesem a popisem flokulačních činidel a jejich působení na koloidní soustavu, včetně vlastností ovlivňujících tato činidla. Současně je zde uveden charakter nyní používaných syntetických flokulačních činidel. Praktická část se zabývá zkoumáním a hledáním vhodností použití flokulačních činidel na fugát a zhodnocením vybraných flokulačních činidel.

Klíčová slova: Anaerobní digesce, Fugát, Digestát, Koloid, Flokulace, Flokulanty

Summary

This thesis is divided into the theoretical and practical laboratory section . First part deals with the description of anaerobic fermentation , during which arises out of the biogas fermentation also the rest of the digestate, which can be obtained by separation by centrifugation liquid component fugate and solid rest. The properties and current ways of „digestate“ management are also presented in this part of thesis. The next theoretical section describes the dispersion system from which fugate consists and description of stabilization and destabilization of the dispersion system. The last part of the theoretical part deals with the flocculation process and a description of flocculation agents and their effects on the colloidal system, including aspects affecting this agents. Simultaneously, there is shown the character now used synthetic flocculants . The practical part deals with the research and finding appropriation of the flocculants using to fugate and evaluation of selected flocculation agents.

Keywords: Anaerobic fermentation, Fugate (sewage water), Digestate, Colloid, Flocculation, Flocculants

Obsah

1	Úvod a cíle	1
2	Problematika produkce digestátu jako konečného produktu anaerobní digesce v bioplynových stanicích	2
2.1	Anaerobní fermentace	2
2.2	Faktory ovlivňující proces anaerobní digesce	3
2.3	Digestát	4
2.4	Dělení digestátu podle sušiny	5
2.5	Dle vstupních surovin a jejich použití	5
2.5.1	Zemědělské digestáty	5
2.5.2	Čistírenské digestáty	6
2.5.3	Ostatní digestáty	6
2.6	Použití digestátu jako hnojiva	6
2.7	Použití digestátu k terénním úpravám mimo zemědělskou a lesní půdu	7
2.8	Ukládání, likvidace	8
2.9	Možnosti dalšího zpracování	8
2.10	Problematika digestátu	8
2.11	Přehled dotčené legislativy	9
3	Koloidy	10
3.1	Koloidní disperze	10
3.2	Dělení koloidních disperzí	11
3.2.1	Hydrofilní	11
3.2.2	Hydrofobní	11
3.3	Stabilita koloidů	12
3.3.1	Elektrická dvojvrstva	12

3.3.2	Hydratační obal.....	13
3.4	Destabilizace koloidů a vznik agregátů	13
3.4.1	Změna pH	13
3.4.2	Přídavek vhodného elektrolytu	13
3.4.3	Přídavek solí s opačným nábojem.....	14
3.4.4	Přídavek molekulárních koloidů	14
4	Flokulace	15
4.1	Flokulační činidla	15
4.2	Způsoby působení flokulačních činidel na čištěný systém	15
4.2.1	Elektrolyty	15
4.2.2	Povrchově aktivní látky	16
4.2.3	Makromolekulární látky	16
4.2.4	Bioflokulanty	17
4.3	Základ syntetických flokulačních činidel	17
4.4	Faktory ovlivňující proces flokulace	17
4.5	Požadavky na flokulační činidla a strukturu jejich polymerů:.....	18
4.6	Vlastnosti, podle kterých se flokulační činidla liší a dělí	18
4.6.1	Podle vlastnosti polymeru	18
4.6.2	Molekulová hmotnost.....	19
4.6.3	Funkční skupiny	19
4.6.4	Náboj.....	19
4.6.5	Viskozita.....	20
4.7	Možné použití flokulačních činidel	20
4.8	Komerčně dostupné flokulanty	21
5	Laboratorní práce.....	22

5.1	Bioplynová stanice Farma Stonava	22
5.2	Odběr vzorku.....	23
5.3	Zpracování vzorku.....	23
5.4	Testování vybraných flokulantů při separaci tuhé fáze z fugátu.....	24
5.5	Flokulační činidla	28
6	Vyhodnocení	42
7	Diskuze a závěr	43
8	Použitá literatura.....	45
9	Seznam obrázků	48
10	Seznam tabulek.....	49
11	Seznam grafů.....	50
12	Seznam příloh.....	50
13	Přílohy.....	51

1 Úvod a cíle

Cílem této diplomové práce stanovení možného použití flokulačních činidel pro separaci jemně dispergovaných částic ze separované tekuté fáze produktu vznikajícího na zemědělské bioplynové stanici, fugátu. A případně nalezení vhodného činidla, také stanovení jeho účinnosti a možností jeho použití v praxi.

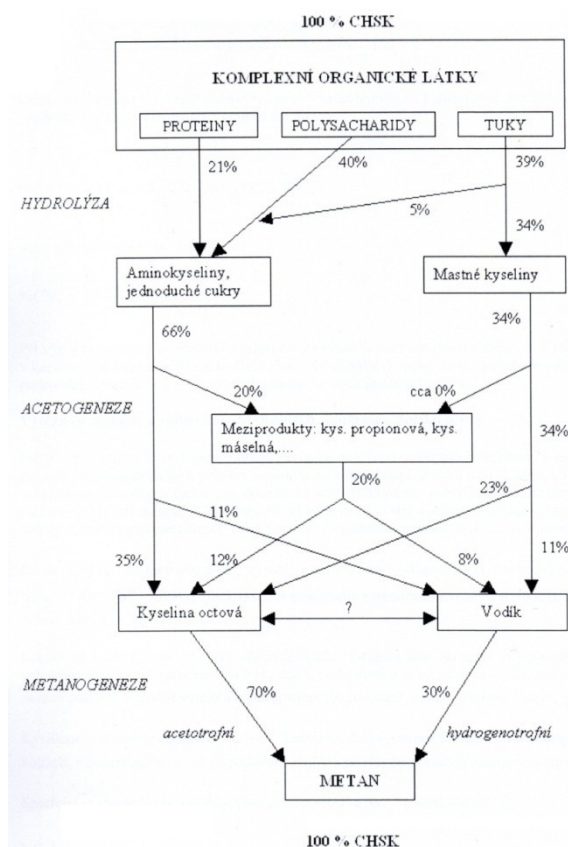
Tato práce je rozdělena na dvě části. V první části je souhrn teorie týkající se vzniku fugátu, což zahrnuje stručný popis fermentačního procesu a vlivů na něj, které se mohou odrazit ve vlastnostech fugátu.

V praktické části bylo provedeno zkoumání v laboratoři dostupných flokulačních činidel na vzorku fugátu odstředěného ze vzorku digestátu odebraného ze zemědělské bioplynové stanice Farma Stonava. Po nalezení vhodného činidla byly provedeny i další rozborů pro zjištění účinnosti daného činidla. Jsou zde uvedena veškerá vyhodnocení včetně provedené fotodokumentace.

2 Problematika produkce digestátu jako konečného produktu anaerobní digesce v bioplynových stanicích

2.1 Anaerobní fermentace

Proces anaerobní digesce je složitý fyzikální, chemický a fyzikálně-chemický proces rozkládající za nepřístupu vzduchu organickou biomasu za vzniku směsi plynů a stabilizovaného fermentačního zbytku. K rozkladu dochází pomocí na sebe přesně navazujících metabolických procesů mikroorganismů. Proces lze rozdělit do čtyř fází, hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze, kdy produkty jedné fáze jsou substrátem pro druhou a při výpadku nebo narušení některé z těchto fází dochází ke kolapsu systému. Ve fázi **hydrolýzy** dochází za pomoci extracelulárních enzymů tzv. hydroláz k rozkladu makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek jako jsou bílkoviny, lipidy, celulóza na nízkomolekulární ve vodě rozpustné sloučeniny jako například aminokyseliny a mastné kyseliny. Ve fázi **acidogeneze** dochází k rozkladu nízkomolekulárních sloučenin z fáze hydrolýzy za vzniku nižších mastných kyselin, alkoholů, oxidu uhličitého nebo vodíku. Vznikají zde i mnohé konečné produkty rozkladu závislé na vstupním substrátu a na parciálním tlaku vodíku, což je podíl na celkovém tlaku směsi plynů, který vymezuje jedna jeho složka a součet jednotlivých parciálních tlaků přítomných plynů je pak roven celkovému tlaku směsi plynů. Pokud je tlak vodíku vyšší vznikají například vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná, etanol a další, za nižšího pak jsou produkty CO_2 , H_2 a kyselina octová. Třetí fází je **acetogeneze**, kdy dochází k rozkladu kyseliny propionové a vyšších organických kyselin než octové, alkoholů a aromatických sloučenin na substrát **methanogenní** fáze, kterými jsou H_2 , CO_2 a kyselinu octovou. V poslední fázi methanogenní bakterie přetvářejí tento substrát na konečný produkt anaerobní fermentace a to na směs plynů, z nichž nejvýznamnější pro ekonomické využití jsou CH_4 , CO_2 , H_2S , N_2O , HCN a řadu dalších plynů jako jsou například N_2 a O_2 . Dalším většinou vedlejším produktem při výrobě bioplynu je směs nerozložitelných nebo nerozložených zbytků substrátu, které prošly procesem fermentace. [1,2,9,13,14,15,16,17]



Obrázek 1 Průběh fermentace [11]

2.2 Faktory ovlivňující proces anaerobní digesce

Na průběh a na výsledné produkty digesce má význam mnoho faktorů. Jedním z faktorů ovlivňujícím proces je vliv pH. Pro správnou funkci methanogenních bakterií je důležité udržovat v procesu hodnotu pH v rozpětí 6,5-7,5, ve kterém jsou zajištěny neoptimálnější podmínky pro růst bakterií. Dalším podstatným faktorem ovlivňujícím proces je teplota. Proces fermentace probíhá v širokém spektru teplot od psychrofilní (4-20 °C) přes mezofilní (25-40 °C), termofilní (45-60 °C) až po extrémně termofilní (nad 60 °C) a v závislosti na výši provozované teploty je možné fermentační reaktor více zatížit množstvím nově dodaného substrátu za den, neboť čím je vyšší teplota, tím rychleji dochází k nastartování procesu degradace a tím i k rychlejší a vyšší produkci bioplynu. Zároveň je možné reaktor více zatížit přísunem nové organické hmoty za den, což opět vede k vyšší produkci plynu. Při rozhodnutí o změně teploty a s tím souvisejících požadavcích na reaktor, je třeba postupovat pomalu, aby se mohly přítomné bakterie přizpůsobit. Aby celý proces dobře fungoval, je nutné dbát na složení použitého substrátu,

které ovlivňuje výsledný produkt. Pro to, aby proces správně fungoval, je dobré udržovat poměr vstupních nutrientů $\text{CHSK:N:P} = 300(500):6,7:1$, spolu s mnoha mikronutrienty, jako jsou Na, K, Ca, Fe, S, Mg, Se, W a řady stopových prvků na určité úrovni, což bude přispívat k zvýšené metanogenní aktivitě a růstu biomasy. Zároveň je však nutné sledovat přítomnost těžkých kovů nebo některých organických látek, zejména pesticidů a rozpouštědel, která mohou negativně ovlivňovat celý proces, obzvláště pokud se vyskytnou jednorázově. Pokud dochází ke kontinuálnímu dávkování těchto látek do systému, dojde k tomu, že se mikroorganismy přizpůsobí i na ty látky, které byly dříve pro systém toxické. Jako substráty pro výrobu bioplynu lze používat zemědělské produkty živočišného a rostlinného původu, které nejsou v rozporu se zákonem 31/2011 Sb., o odpadech ani s Nařízením Evropského parlamentu a Rady ES 1069/2009 o vedlejších živočišných produktech. Dalšími možnými substráty pro anaerobní fermentaci jsou čistírenské kaly vzniklé provozem ČOV a vedlejší živočišné produkty, které však musejí před fermentačním procesem projít hygienizací z důvodu likvidace možných patogenů. [1,2,3,4,10,14,15,16,18]

Složení vstupních surovin má vliv na rozdělení jednotlivých bioplynových stanic na zemědělské, čistírenské a ostatní a dle použité technologie závislé na sušině použitého substrátu na suchou nebo mokrou fermentaci.[13,14]

2.3 Digestát

Digestát je stabilizovaný fermentační zbytek obsahující rozložené a částečně i nerozložené a nerozložitelné částice ze vstupního substrátu a podle použité technologie zpracování se jedná buď o tekutou, v případě použití technologie mokré digesce, nebo sypkou heterogenní směs v případě použití technologie suché fermentace. Rozdělitelnou pomocí mechanických zařízení jako jsou dekantační odstředivky, sítopásové lisy, nebo šnekové separátory na tuhou část, což je separát a na tekutou, kterou je fugát.

Podle vyhlášky 271/2009 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva je digestát organické hnojivo typové (typ 18.1 e s minimálním obsahem 25 % spalitelných látek a s 0,6 % dusíku). Vlastnosti digestátu a kapalné fáze, tzv. fugátu jsou si do značné míry podobné a jsou závislé na vstupním substrátu. U kterého dojde během fermentace ke značným změnám, neboť dochází k redukci organické hmoty o zhruba 45-60 % a změní se

i původní poměr C:N ze zhruba 18:1 na 10(8):1. Což nasvědčuje tomu, že digestát obsahuje rostlinám těžce dostupné látky a je tedy převážně minerálním hnojivem. Podle vlastností a složení vstupního substrátu a podle účinnosti fermentačního procesu určuje způsob použití, zpracování a případně likvidace digestátu popř. fugátu. [5,7,8,14,15,16,17]

2.4 Dělení digestátu podle sušiny

Na základě vyhlášky 271/2009 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva se digestáty rozlišují na základě obsahu sušiny nad a nejvýše 13% a podle této sušiny se liší limitními hodnotami vybraných sledovaných rizikových prvků. Navíc platí omezení pro množství aplikovaných digestátů v závislosti na sušině a to při sušině nad 13% je možné aplikovat maximálně 20 tun sušiny / ha v průběhu 3 let, a při aplikaci digestátu o sušině nejvýše 13% pak maximálně 10 tun sušina / ha v průběhu 3 let.[14,16,18]

Tabulka 1 Limitní prvky pro použití digestátu jako hnojivo[18]

Prvek		Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Jednotka	[%]	[mg/kg sušiny]								
Sušina	<13	2	100	1	20	100	250	20	50	1200
	>13	2	100	1	20	100	150	20	50	600

2.5 Dle vstupních surovin a jejich použití

2.5.1 Zemědělské digestáty

Vlastnosti digestátu pocházejících ze zemědělských bioplynových stanic jsou úzce závislé na vstupních surovinách, kterými jsou v tomto případě převážně zbytkové produkty jako jsou hnůj, kejda s podestýlkou nebo bez při chovu zemědělských zvířat na roštích, nebo jsou to záměrně pěstované plodiny jako obiloviny, speciální energetické druhy kukuřice s vysokým výnosem, travní siláže, senáže a mnoho dalších substrátů v různých kombinacích, které nejsou v rozporu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších úprav. Dále se na tomto typu zpracovávají substráty, které nejsou vedlejší živočišné produkty, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1069/2009 ve znění pozdějších úprav. [6,7,8,14,15,16]

2.5.2 Čistírenské digestáty

Vznikají zpracováním substrátů souvisejících s provozem ČOV, což jsou například primární a aktivovaný kal nebo kaly z domovních septiků a žump. I když tyto digestáty vznikají obdobným fermentačním postupem je lepší je nazývat spíše anaerobně stabilizovaným kalem, než digestátem. [5,6,7,14,16]

2.5.3 Ostatní digestáty

Tyto digestáty vznikají na bioplynových stanicích, které zpracovávají odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších úprav a vedlejší živočišné produkty podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1069/2009 ve znění pozdějších úprav, které však musejí před fermentací projít procesem hygienizace k omezení zdravotního rizika.[5,6,7,14,16]

2.6 Použití digestátu jako hnojiva

Pokud digestát svými vlastnostmi vyhovuje podle zákona č. 156/1998 o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění pozdějších předpisů, je možné jej v současné době aplikovat na zemědělskou půdu a tím podle vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, které digestát stanoví jako organické hnojivo typové (typ 18.1 e) obsahující 25 % spalitelných látek a minimálně 0,6 % celkového dusíku v sušině přispívat k obohacení půdy o hnojivé látky. I když podle zákona, který umožňuje aplikaci digestátu na zemědělskou půdu, se jedná o organické hnojivo, tak mnoho odborníků se domnívá, že tím tak úplně není, a že se spíše jedná o minerální hnojivo, tedy s látkami již dokonale rozloženými a pro rostliny těžko dostupnými, čímž dochází v půdě, na které se pěstují energetické plodiny pro bioplynové stanice, k neustálému úbytku živin. Zároveň je však nutno podle předpisů Ministerstva zemědělství, podle nařízení vlády č. 219/2007, o stanovení zranitelných oblastí a používání a skladování hnojiv a statkových, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech, ve znění pozdějších předpisů, dodržet určité požadavky při aplikaci na půdu, jako např. neaplikovat digestát na půdu, která je zamokřená, promrzlá, pokrytá vrstvou sněhu, kde je provedena meliorace, nebo na svazích, kde hrozí splach do vodního toku. Neboť podle zákona č. 254/2001 Sb.,

o vodách, ve znění pozdějších novelizací je digestát zařazen mezi závadné látky a podle toho je nutné s ním nakládat tak, aby nevnikl do vod podzemních ani povrchových a tím neohrozil životní prostředí. V závislosti na poměru C:N je důležité dodržet dobu pro zapravení do půdy, neboť pokud je daný poměr menší než 1:10 obsahuje digestát dusík ve formě, u které hrozí, že dojde k jeho rychlému uvolnění a tím dojde ke ztrátě požadovaných vlastností, fugát by měl být zapraven do půdy maximálně do 24 hodin a separát do 48. Pro aplikaci je vhodné používat speciální hadicový aplikátor, kterým dochází k aplikaci digestátu z co nejmenší vzdálenosti od půdy a zároveň k jeho zapravení do půdy. Pokud je zemědělský digestát aplikován na pozemky patřící provozovateli bioplynové stanice, není nutné digestát podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění navazujících předpisů registrovat jako hnojivo u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. V případě prodeje nebo aplikaci na jiné pozemky je nutno tento digestát již registrovat.[7,8,9,14,15,16,17]

2.7 Použití digestátu k terénním úpravám mimo zemědělskou a lesní půdu

Digestát pocházející z bioplynové stanice zpracovávající bioodpad, je podle přílohy č. 1 z vyhlášky 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady nazýván rekultivační a podle toho, do které ze skupiny je zařazen, je určeno jeho použití pro úpravu terénu pro městskou zeleň, zeleň parků a lesoparků, k tvorbě rekultivačních vrstev, například u skládek komunálního odpadu, nebo úpravy v intravilánu průmyslových zón. Zároveň jsou v této vyhlášce určeny limity hygienických ukazatelů maximálních koncentrací vybraných rizikových látek a vlastností, které musí digestát splňovat, což je např. vlhkost maximálně 98 %, obsah celkového dusíku v sušině více než 0,3 %, pH 6,5-9,0 a hlavně, že nesmí vykazovat zápach, který by svědčil o nedostatečné stabilizaci a možné přítomnosti nežádoucích látek. Mimo tuto vyhlášku zároveň platí i vyhlášky 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, 254/2001 Sb., o vodách a v jejich pozdějších zněních, kde jsou stanoveny požadavky a kritéria pro aplikaci těchto rekultivačních digestátů.[6,7,8,14,16]

2.8 Ukládání, likvidace

Pokud digestát nesplňuje předchozí kritéria pro použití jako hnojivo, případně jako rekultivační digestát, je nutno jej likvidovat podle zákona 21/2011 Sb., o odpadech. Likvidace probíhá například skládkováním, nebo biologickým čištěním na čistírnách odpadních vod. Skládkování přináší ovšem problém ve velkém množství digestátu, při čištění pak například problémy způsobuje již samotná podstata digestátu jakožto již biologicky stabilizované hmoty, se kterou mají aerobní bakterie v procesu čištění problémy.[7,14,16]

2.9 Možnosti dalšího zpracování

Digestáty se mohou zpracovávat také spalováním, kdy jsou smíchány a slisovány s jinou spalitelnou biomasou do briket (pelet) a spálením lze využít zbylou energii substrátu, termickou oxidací uhlíku, neboť podle vyhlášky 271/2009 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva digestáty obsahují minimálně 25 % spalitelných látek. Zde však hrozí, že by mohlo například dojít při nesprávném spalovacím procesu k uvolnění sloučenin chloru, kdy při spalování při teplotách mezi 350-700 °C vznikají například toxické polychlorované dioxiny.[8,14,16]

2.10 Problematika digestátu

Jak již bylo zmíněno, digestát se v současné době využívá převážně jako hnojivo, i když jeho hnojivé účinky nejsou zdaleka srovnatelné například se vstupními substráty např. kejdou či slámou, a hlavně jsou v těžko dostupné minerální formě a většina pro rostliny využitelných látek se během procesu fermentace proměnila v bioplyn, degradace organické hmoty je cca 45 – 60%. Avšak s úbytkem množství dobytka a se zvyšující se cenou dusíkatých hnojiv jej zemědělci začali využívat jako adekvátní hnojivo, hlavně na pozemcích pro pěstování rostlin pro bioplynové stanice a tím vlastně stále z půdy odebírají potřebné živiny, ale zpět je nedodávají v takovém množství, jaké by bylo zapotřebí. Toto je také navíc podpořeno i ze strany státu z důvodu získávání energie z obnovitelných zdrojů, kdy pomocí dotací podporuje výstavbu nových a přestavby stávajících bioplynových stanic s dokonalejším procesem, kdy dochází k vyššímu využití energie ze substrátu a tím i vyšší degradaci použitelných složek. Z důvodu zvyšujícího se počtu stanic vzrůstá i množství

digestátu, například stanice s výkonem okolo 1000 kWh produkuje přibližně 20000 m³ digestátu ročně, se kterým bude do budoucna nutno patřičně nakládat, místo pouhého aplikování na zemědělskou půdu. V roce 2012 byl instalovaný výkon na našem území okolo 224Mwh, což představuje přibližně 4480000 m³/rok. I když část tohoto množství představuje anaerobně stabilizovaný kal z čistíren odpadních vod a podle toho se s ním nakládá, tak se stále jedná o velmi velké množství, se kterým bude nutno něco dělat.

2.11 Přehled dotčené legislativy

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002, o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu. Novela č. 1069/2009.
- Zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 31/2011.
- Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.
- Vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.
- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 9/2009.
- Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 271/2009.
- Vyhláška č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 399/2004.
- Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. Novela č. 108/2008.
- Nařízení Rady (ES) č. 834/2007, o ekologické produkci a označování ekologických produktů, pokud jde o ekologickou produkci, označování a kontrolu. Novela č. 889/2008.

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 151/2011.
- Zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Novela č. 288/2011. [7]

3 Koloidy

Koloidem, nebo také disperzní soustavou je označováno prostředí, kde jedna látka, případně částice nazývaná disperzní podíl, je rozptýlená v jiné, kterou nazýváme disperzní prostředí.

Podle počtu fází se disperzní soustava dělí na:

- **Homogenní**, kdy podíl i prostředí je tvořena jednou fází, například kapalina v kapalině.
- **Heterogenní**, kdy je podíl i prostředí tvořeno různými fázemi, například tuhá látka v kapalině.

Podle velikosti částic se disperzní soustava dělí na:

- **Hrubě disperzní**, kdy je velikost částic větší než 500 nm a jsou pozorovatelné v mikroskopu a díky své velikosti jen částečně vykonávají Brownův tepelný pohyb částic a tyto částice jsou zachytitelné pomocí filtrace.
- **Koloidně disperzní**, kdy je velikost částic 1 – 500 nm a k jejich pozorování je zapotřebí ultramikroskopu nebo elektronového mikroskopu, vzhledem k velikosti částice již mohou vykonávat značný Brownův pohyb a k zachycení je již zapotřebí membrán.
- **Analytické disperze**, kdy je velikost částic menší než 1 nm a k jejich pozorování již nestačí ani elektronové mikroskopy, díky velikosti částice vykonávají již velmi značný, neuspořádaný Brownův pohyb a k jejich zachycení již nestačí ani membrány.[19,20,21,23,25]

3.1 Koloidní disperze

Často, aby bylo dosaženo požadované jakosti při úpravě a čištění přírodních a odpadních vod, je nutné z ní odstranit jemné dispergované částice. Podle jejich

fyzikálních a chemických vlastností se volí i způsob jejich odstranění. Pokud se velikost částic pohybuje do $0,1\ \mu\text{m}$, pak se jedná o koloidní disperze neboli koloidy. Tyto částice vlivem Brownova pohybu jeví neustálý nepravidelný pohyb, při kterém dochází mezi molekulami a koloidními částicemi ke srážkám, ale v závislosti na velikosti u nich v podstatě nedochází k sedimentaci. Dalším typickým znakem, díky kterému nedochází k zvětšování částic, což také zapříčiňuje, že nesedimentují, je náboj na povrchu těchto částic, kdy dochází k odpuzování jednotlivých částic. [19,20,21,23,25]

3.2 Dělení koloidních disperzí

Koloidní disperze se v podstatě dělí na dvě skupiny, na hydrofilní a na hydrofobní, podle jejich vztahu k vodě.

3.2.1 Hydrofilní

Jedná se o homogenní disperzní soustavy, kde částicemi mohou být makromolekulární látky nebo asociáty. Vznikají samovolným rozkladem větších částic. Pokud se do vody nepřidají vysoce koncentrované elektrolyty, chemické přípravky nebo koloidy s opačným nábojem, jsou hydrofilní částice poměrně stálé. Hydrofilní látky je dále možné rozdělit na:

Rozpuštěné vysokomolekulární organické látky, které vznikají rozpadem organických látek. Jsou to například bílkoviny, huminové látky, polyfosforečnany, převážně jsou to rozpadlé lineární polymery se silně polárními skupinami jako OH^- , COOH^- , NH_2^+ , které nesou náboj po disociaci těchto skupin.

Micelární látky, což jsou nízkomolekulární látky tvořící přechod mezi pravými roztoky a vysokomolekulárními roztoky a jsou tvořeny micelami vzniklými asociací mnoha malých molekul po překročení tzv. kritické micelární koncentrace. [19,20,21,23,25]

3.2.2 Hydrofobní

Jedná se o heterogenní disperzní soustavu. Ke vzniku koloidů ve vodách nedochází samovolně a je nutný umělý zásah v podobě přídavku elektrolytických koagulačních činidel, čímž se zruší stabilizační fázové rozhraní tvořené převážně elektrickým nábojem. [19,20,21,23,25]

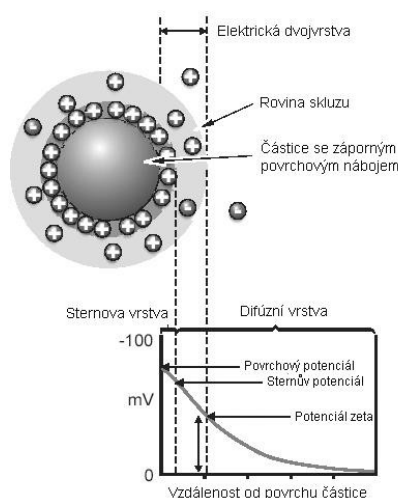
3.3 Stabilita koloidů

Stabilitou koloidů se nazývá schopnost částic vzájemně se odpuzovat a tvořit rozměrnější celky, které by byly schopné sedimentace. Vznik stability je zapříčiněn fázovým rozhraním tuhé a kapalně fáze na povrchu částic, které je podporováno nábojem na povrchu rozhraní a hydratací povrchu částic.

Hlavními stabilizačními mechanismy jsou:

3.3.1 Elektrická dvojvrstva

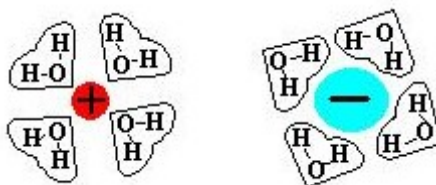
Jedná se o útvar obklopující jádro nerozpuštěných částic, a je složen ze dvou vrstev s opačným nábojem. Vzniká na styku nabitého koloidu s roztokem elektrolytu. Pro popis tohoto stavu vzniklo několik modelů, z nichž nejuznávanější a taky používaný je Sternův model elektrické dvojvrstvy. Povrch částice pokrytý vrstvou určitého náboje o tloušťce jednoho iontu je kompenzován vnější vrstvou složenou z částí pevně ulpělé k vnitřní vrstvě, která však plně nekompenzuje jeho náboj, a z difúzní vrstvy zasahující do roztoku a pohybující se s ním, ve které se již náboj vnitřní vrstvy kompenzuje. Náboj rozdílů vnitřní a pevně ulpělé vnější vrstvy se nazývá elektrokinetický potenciál nebo také ζ – potenciál (zeta). Pro různé koloidy vykazuje různou hodnotu a pohybuje se v rozmezí 50-100 mV. Pokud se jeho hodnota pohybuje nad 40 mV jedná se o stabilní koloid, při hodnotě pod 30 mV nastává pomalá koagulace a při hodnotách kolem 0 mV nastává rychlá koagulace. Zeta potenciál je závislý na mnoha faktorech, například na pH a dávce flokulantu, iontové síle vody a na obsahu opačně nabitých částic. [19,20,21,23,25]



Obrázek 2 Schéma elektrické dvojvrstvy a zeta-potenciálu [31]

3.3.2 Hydratační obal

Vzniká hlavně u rozpuštěných makromolekulárních látek tak, že se dipóly molekul vody okolo koloidu nabitého určitým nábojem vlivem elektromagnetických sil prostorově orientují a tím dochází k tomu, že se makromolekuly navzájem odpuzují a nekoagulují do větších celků.[19,20,21,23,24,33]



Obrázek 3 Schéma hydratačního obalu [32]

3.4 Destabilizace koloidů a vznik agregátů

Aby bylo možné z vody oddělit jemné koloidní částice, je třeba destabilizovat výše popsané stabilizující mechanismy způsobující, že se částice odpuzují. Tím, že se zruší síly toto způsobující, začnou převažovat síly přitažlivé a částice se začnou shlukovat do větších lépe separovatelných agregátů. K tomuto účelu se v praxi používají mnohé prostředky. [19,20,21,23,25]

3.4.1 Změna pH

Změnou pH dojde k tomu, že se původně disociované látky převedou na nedisociované nebo minimálně dojde k potlačení disociace, dojde k snížení polaritý látek. Okolo méně polárních nedisociovaných látek dojde k vytváření tenčích hydratačních obalů a k snížení stability systému. [19,20,21,23,25]

3.4.2 Přídavek vhodného elektrolytu

K tomuto účelu se používají elektrolyty obsahující ionty schopné se zabudovat do krystalové mřížky a ionty schopné stlačovat elektrickou dvojvrstvu. Záleží zde na koncentraci elektrolytu, neboť při malé koncentraci dochází pouze k zabudovávání iontů do krystalové mřížky částice a pouze při zvýšení koncentrace dojde i k stlačování dvojvrstvy. Dojde tedy nejprve k zvýšení zeta-potenciálu a pak k jeho poklesu.

K ovlivňování zeta potenciálu jsou nejvhodnější elektrolyty s opačnými náboji, než je náboj povrchu částic. [19,20,21,23,25]

3.4.3 Přídavek solí s opačným nábojem

Pokud do systému shodně nabitých odpuzujících se částic vneseme částice opačného náboje, dojde k tvoření agregátů. Mohou nastat případy, kdy je koagulace buď úplná, nebo částečná a vše záleží na poměru kladně a záporně nabitých částic jak v roztoku, tak v přidaném elektrolytu. Pokud jsou si počty nábojů rovny, dojde k úplné koagulaci, pokud přebývají v jednom nebo druhém systému částice s některým nábojem, dojde k tomu, že na konci koagulace zůstanou v systému nezkoagulované částice. [19,20,21,23,25]

3.4.4 Přídavek molekulárních koloidů

Jde o to, že makromolekuly organického polymeru tvoří dlouhé lineární nebo větvené řetězce, které se pomocí vhodné chemické skupiny obsažené na koncích řetězce adsorbují na povrch koloidní částice, a tím u ní dochází k destabilizaci, přičemž zbytek polymerního řetězce se volně rozprostírá do okolí, kde dochází k navázání na jinou částici. Dochází k tvorbě tzv. můstku. Pro tvorbu těchto můstků je důležité složení použitého polymeru, dostatečně velký vhodný prostor na povrchu částice a velikost polymerního řetězce. S velikostí řetězce souvisí i rychlost míchání při aplikaci. Rozlišují se dvě fáze míchání:

Perikinetická fáze, která je také označována jako koagulace a je charakteristická vysokou rychlostí míchání (rychlostní gradient $G =$ až 1000 s^{-1}), kdy během několika sekund dojde k rozmísení koagulačního činidla s roztokem a destabilizací koloidů a také za pomoci Brownova pohybu k tvorbě mikrovloček o velikosti $1\text{-}100\mu\text{m}$. Při této fázi míchání je hlavně důležitá také doba, aby při delší době míchání nedošlo k následnému rozbití vytvořených vloček.

Ortokinetická fáze, označovaná je také jako flokulace. Je charakteristická dlouhou dobou pomalého míchání a tvorbou velkých dobře separovatelných vloček, které díky své velikosti klesají gravitací dolů. Těžší a rychlejší vločky narážejí na lehčí a pomalejší částice, čímž dochází ke kontaktu a dalšímu zvětšení agregátu. Důležité je v této fázi klást

důraz na rychlost, a to tak, aby se částice mohly setkat, ale zároveň nedocházelo k jejich opětovnému rozbití. [19,20,21,23,25]

4 Flokulace

Jedná se o proces, během kterého dochází ke shlukování jednotlivých volných pevných koloidů a pomocí polymerních vysokomolekulárních řetězců k vytváření můstků schopných pomocí adsorpce spojovat jemné koloidy z roztoku do větších lépe separovatelných celků nazývaných flokulační částice nebo častěji vločky. K tomuto slouží flokulační činidla, někdy také označované jako pomocné koagulační činidla, neboť se používají v procesu koagulace spolu s koagulačními činidly, a napomáhají zde vytvářet větší a kompaktnější vločky.[19,20,22,23,24,25,28]

4.1 Flokulační činidla

Jsou organické ve vodě rozpustné makromolekulární látky syntetického nebo přírodního původu. Obsahující dlouhé lineární, případně rozvětvené polymerní molekuly o molekulové hmotnosti pohybující se řádově v milionech. Pro praktické použití je někdy vhodné zkombinovat činidla s různou molekulovou hmotností, aby se dosáhlo odstranění největšího množství částic, neboť pro různé částice mohou být vhodné jiné řetězce. [19,20,22,23,24,25,28]

4.2 Způsoby působení flokulačních činidel na čištěný systém

Podle způsobu jakým na povrch částic působí je možné flokulační činidla dělit na:

4.2.1 Elektrolyty

Působením elektrolytů s opačným nábojem, než jsou náboje částic v roztoku, dochází k nábojovému vyrovnání a tzv. stlačení elektrické dvojvrstvy na povrchu jednotlivých částic a tím k jejich vzájemnému dotyku a spojování do větších celků pomocí adhezních sil. [19,20,22,23,24,25,28]

4.2.2 Povrchově aktivní látky

Nazývají se též sběrače, které způsobují pomocí hydrofobizačního účinku snížení povrchového náboje zrn a následně dochází působením adhezních sil k spojení do větších celků. [19,20,22,23,24,25,28]

4.2.3 Makromolekulární látky

Používá se též termín polymery. Jedná se o ve vodě rozpustné makromolekulární látky s řetězovou strukturou, které pomocí na koncích umístěných aktivních skupin, případně díky vlastností samotného řetězce se poutají na jednotlivé částice pomocí adsorpce. Tyto látky je možné dělit podle několika hledisek, základní je dělení podle původu:

Přírodní, což jsou látky jak rostlinného tak živočišného původu. U kterých se pro zlepšení jejich vlastností mohou provádět chemické úpravy, kdy se do jejich řetězců zabudovávají aktivní skupiny, např. aniontová karboxylová skupina. Z rostlinných jsou to převážně škroby, celulózy, přírodní gumy apod. a jejich deriváty. U těch původu živočišného se jedná o želatinu nebo klíh jako produkty odbouraného kolagenu.

Syntetické, jedná se o uměle vytvořené látky, u kterých je možné při výrobě mnohem lépe přizpůsobit jejich vlastnosti, jako tvar molekul, molekulovou hmotnost nebo náboj v závislosti na možném použití.

Podle charakteristických skupin umístěných na polymerních řetězcích a podle druhu a podílu iontových nábojů je možné makromolekulární syntetické látky dělit na:

Neionogenní, tyto polymery na svém řetězci neobsahují žádné disociovatelné látky a tudíž vykazují neutrální elektrochemické chování. Příkladem neionogenního flokulantu může být čistý homopolymer akrylamidu.

Anionaktivní, jedná se o ionogenní polymery, které na svém řetězci mají obsaženy disociovatelné skupiny, vznikající nejčastěji kopolymerací akrylamidu a aniontové sodné kyseliny akrylové. V závislosti na množství těchto disociovaných skupin na původním neionogenním řetězci se stanovuje aniontová aktivita daného flokulantu, která se může pohybovat v rozmezí 0 – 100 %.

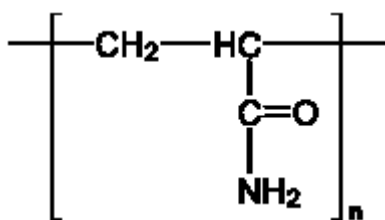
Kationaktivní, jedná se o ionogenní látky a tyto polymery na svém akrylamidovém řetězci mají umístěny nejčastěji kationtové monomery kvartérních nebo protonových esterů či amidy aminokarboxylových kyselin. Opět zde platí, že podle množství disociovaných skupin obsažených na akrylamidovém řetězci se dá vytvořit různá kationtová aktivita. [19,20,22,23,24,25,28]

4.2.4 Bioflokulanty

Jedná se mikroorganismy produkující slizovité suspenze vázající se na koloidní částice.

4.3 Základ syntetických flokulačních činidel

Pro tvorbu polymerních flokulačních činidel se používá řada organických látek např. polyvinilalkohol (PVA), polyetylenoxid (PEN), polyvinilmetylester, polyakrilamid (PAM), kyselina polyakrylová a její soli, polymery polyaminoakrylátu, kopolymer metylvinyleteru, polystyrensulfonová kyselin, kvarterní amoniové polymery a další. V současné době se většina syntetických činidel připravuje na základě polyakrylamidu. Což je polymerovaná forma monomeru akrylamidu, což je krystalická látka bílé barvy bez chuti a zápachu, která je vysoce rozpustná ve vodě a ethylacetátu. Chemický vzorec polyakrylamidu je $(C_3H_5NO)_n$. Polymerace nastává reakcí radikálu s dvojnou vazbou a může reagovat jako elektrofilní látka s sulfanylovou nebo amidovou skupinou. [19,20,22,23,24,25,26,28]



Obrázek 4 Vzorec polyakrylamidu

4.4 Faktory ovlivňující proces flokulace

Téměř každé flokulační činidlo má svá kritéria pro použití, a tak stupeň agregace závisí v podstatě jen na třech všeobecných faktorech, na:

Chemických vlastnostech a struktuře polymeru, což představuje například molekulovou hmotnost polymeru, druh náboje aktivních skupin, velikost a objem polymerní částice, typ polárních skupin v polymerním řetězci, distribuci náboje v polymerním řetězci a stupeň a druh rozvětvení polymerního řetězce.

Povaze upravovaného systému, což je povrchový náboj částic, velikost částic, druh pevných látek (minerální, anorganické, organické), množství adsorpčních míst na povrchu částic, poměr velikosti částice vůči velikosti polymerního řetězce, obsah solí a organických látek v kapalně fázi, pH a koncentrace suspenze, teplota, viskozita a tvrdost vody v prostředí.

Technologickém postupu, což představuje koncentraci dávkovaného polymeru, místo dávkování, stupeň míchání, velikost systému. [19,20,22,23,24,25,28]

4.5 Požadavky na flokulační činidla a strukturu jejich polymerů:

Pro dobrou flokulační funkci je třeba zajistit délku molekuly takovou, aby molekula mohla dostatečně přečnivat do prostoru, a tím by mohlo docházet k spojování částic i při větší vzdálenosti mezi nimi, nejvhodnějším tvarem molekul je lineární tvar. Molekula polymeru musí obsahovat velký počet funkčních skupin schopných stabilních vazeb s povrchem částic. U molekul je třeba zajistit takové vlastnosti, aby poskytovala požadovaný efekt i při nízké koncentraci činidla. Molekulová hmotnost nesmí přesahovat mez rozpustnosti polymeru ve vodě

4.6 Vlastnosti, podle kterých se flokulační činidla liší a dělí

4.6.1 Podle vlastností polymeru

Každá molekula polymeru se skládá z jedné nebo více opakujících se jednotek malé molekulové hmotnosti spojených kovalentními vazbami. Každá z těchto jednotek nese jednu nebo více hydrofilních či ionizace schopných skupin.

Monomer, jedná se o základní chemickou jednotku, ze které se skládá molekula polymeru. **Homopolymer**, jedná se polymery obsahující monomery se stejnou molekulární strukturou. **Kopolymer**, jedná se o molekulu polymeru obsahující více chemických druhů monomerů.

4.6.2 Molekulová hmotnost

Molekulovou hmotností se zde označována délka řetězce, která je důležitá při stanovení možného použití daného flokulačního činidla k potřebným účelům. Je součet hmotností jednotlivých monomerů, ze kterých je řetězec složen. Pokud se jedná o vysokomolekulární polymery s dobrými flokulačními vlastnostmi, pohybuje se molekulární hmotnost někde mezi 1 – 10 mil., nízkomolekulární polymery mívají hmotnost někde kolem 5 – 20 tis..

4.6.3 Funkční skupiny

Jedná se většinou o polární skupiny navázané na základní polymerní jednotce, monomeru, napomáhající adsorpci na povrch částice. A dále napomáhají rozpustnosti flokulantů ve vodě. Určitým směrem určují specifické chování polymerů. Většinou se dělí na aniontové, kationové, neiontové. [19,20,22,23,24,25,28]

4.6.4 Náboj

Syntetické polymerní flokulanty často obsahují hydrofilní funkční skupiny schopné elektrolytické disociace po rozpuštění polymeru ve vodě na příslušné ionty a tím makromolekuly získávají buď kladný, nebo záporný náboj. A jsou tedy polyelektrolyty buď polykyseliny, polyzásady, případně polyamfolyty které na jedné molekule obsahují oba typy.

Podle stavu disociace flokulantu ve vodném prostředí je lze rozdělit polymery na:

- 1) **Neionogenní** - jsou to neelektrolyty například škrob, polyvinylalkohol, polyestery.
- 2) **Ionogenní** - vytvářející složitý vysokomolekulární polyvalentní iont
 - a) anionaktivní – obsahují makroionty se záporným nábojem a jednoduchými kationty: H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+
 - slabě disociované charakteristické obsahem funkční skupiny $-COOH$, jsou to např. polyakrylová a polymetakrylová kyselina
 - silně kyselé charakteristické obsahem funkční skupiny $-SO_3H$, $-PO(CH)_2$, jsou to např. kyseliny polyetylsulfonová

- b) kationaktivní – obsahují makroionty s kladným nábojem a jednoduchými anionty: OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^-
- slabě bazické např. polyvinylamin
 - silně bazické polymery, nesou aminové, fosfoniové a terciální sulfoniové funkční skupiny, např. polybromid
- c) polymery s anionickými a kationickými skupinami, tzv. polyamfolyty, které jsou závislé na hodnotě pH, např. kopolymer akrylamidu s sodným akrylátem
- 3) **Směsné polymery** – obsahují ionické a neionické skupiny. [19,20,22,23,24,25,28,34]

4.6.5 Viskozita

Viskozita vzniká třením sousedních částic v tekutině pracovního roztoku flokulantů. Závisí na jeho koncentraci a v praxi se nepoužívají roztoky koncentrovanější než 1 %. Viskozita dále souvisí s tvarem polymerních molekul a také s hustotou náboje na jejím řetězci. Viskozita roztoku je tím vyšší, čím větší je ionizace polyelektrolytu. Se vzrůstající ionizací dochází k rozbalování a napřimování polymerních řetězců z téměř kulového tvaru do tvaru skoro nehybných tyčí. Podle viskozity je možné získat určité informace o tvaru a konfiguraci makromolekul obsažených ve flokulantu. [19,20,22,23,24,25,28]

4.7 Možné použití flokulačních činidel

Možnosti použití flokulačních činidel je velmi rozsáhlé, je možné je použít jak k výrobě a čištění odpadních vod požadované kvality zbavením koloidních částic, v technologickém procesu například pro lepší odvodnitelnost na lisech, provzdušnění a vylehčení půdy a mnoho dalších možných použití. Následující tabulka uvádí jen některé možnosti použití flokulačních činidel od firmy TRAMFLOC. [24,28]

Tabulka 2 Možnosti použití flokulantů TRAMFLOC[28]

Oblasti možného použití TRAMFLOC flokulantů		
Oblasti	Možnosti použití	Typ flokulačního činidla
Jíl, výroba kaolinů	koncentrace recyklace vody	aniontové kationaktivní
Praní uhlí	usazování uhelných kalů usazovaná hlušiny filtrace uhlí filtrace koncentrované hlušiny odstřeďování hlušiny	anionaktivní anionaktivní anionaktivní neionogenní kationaktivní
Ropné rafinerie	čištění odpadních vod	všechny druhy
Komunální odpadní vody	Zpracování primárních kalů zpracování kalů po digesci fyzikálně-chemická úprava vod síto pásové lisy	Kationaktivní
Pitná voda	zlepšování efektivity procesů snížení koagulantů	anionaktivní neionogenní kationaktivní

4.8 Komerčně dostupné flokulanty

V současné době existuje na světovém trhu velké množství výrobců, kteří se zabývají výzkumem, vývojem a výrobou flokulačních činidel, sloužících v mnoha odvětvích k přípravě vody požadované kvality, ať už pitné nebo provozní, případně k čištění vod odpadních nebo případně v technologickém postupu, kdy tyto činidla napomáhají například lépe separovat vodu na lisech papírenského průmyslu nebo zlepšovat vlastnosti půd jejich vylehčením a provzdušněním. Možnosti flokulačních činidel jsou velmi rozmanité a téměř pro každý typ použití je možné nalézt vhodné řešení.

Ve většině případů použití flokulantů se dnes používají převážně vysokomolekulární polymery na bázi polyakrylamidu, lišících se mnoha parametry. Flokulanty se mezi sebou liší molekulovou hmotností, silou náboje, viskozitou, způsobem dávkování v závislosti na tuhé nebo kapalné formě flokulantu, použitými funkčními skupinami na koncích řetězce.

Ze široké škály produktů od toho či onoho výrobce je možné nalézt takový, který by svými vlastnostmi vyhovoval. Pro každý možný případ použití je nutno před samotnou provozní aplikací provést laboratorní test pro přesné určení, který flokulant se na daný typ použití nejlépe hodí.

Na území České republiky je k dostání mnoho produktů od různých firem. Za zmínku stojí například produkty pod komerčními názvy SOKOFLOK, SUPERFLOC, MAGNAFLOC, PRAESTOL, ZETAG, LABUFLOC, FITAFLOC, SEDIFLOC. Za zmínku jistě stojí to, že například flokulační činidlo SOKOFLOK se dokonce na našem území, pod záštitou jednoho ze světově největších výrobců chemických výrobků pro úpravu vody SNF Group s.a.s, vyrábí. Tento produkt stejně jako i produkty od ostatních výrobců jsou dostupné mnohými distributory na našem území.

Flokulační činidla se dodávají buďto jako sypký materiál balený v pytlích nejčastěji po 25 kg, nebo jako tekuté emulze dodávané v sudech, podle formy daného činidla se používají dávkovací a mísící zařízení určená pro daný typ.[24,29]

5 Laboratorní práce

Praktická část této diplomové práce byla zaměřena na laboratorní zkoumání možnosti použití organických flokulačních činidel pro odstranění jemně dispergované tuhé části z tekuté fáze odpadního produktu bioplynové stanice, tj. z fugátu. Vzhledem k tomu, že současně s tímto výzkumem probíhal výzkum Bc. Radka Součka zaměřující se na možnou intenzifikaci separace tuhé fáze použitím taktéž flokulačních činidel v digestátu, tj. bez předchozího oddělení tuhé fáze odstředěním, není zcela vyloučeno, že zde uváděné postupy a vyhodnocení se mohou s tímto souběžným výzkumem podobat.

5.1 Bioplynová stanice Farma Stonava

Pro laboratorní zkoumání byl použit vzorek digestátu odebraný z bioplynové stanice Farma Stonava. Tato zemědělská bioplynová stanice je zaměřena na zpracování kukuřičné siláže a senáže pěstované na vlastních pozemcích a vepřové kejdy z vlastního chovu prasat a byla vybrána jako vzorový zástupce tohoto druhu bioplynových stanic, neboť na základě práce Ing. Davida Rozbroje z roku 2013, při porovnání vlastností výstupních digestátů, je toto zařízení srovnatelné s ostatními stanicemi. Stanice byla vybudována v roce 2008, kdy byly vybudovány tři kruhové fermentory. Ty byly vytápěny na mezofilní teplotu 39°C pomocí kogeneračních jednotek spalujících vzniklý bioplyn pro výrobu tepelné a elektrické energie provoz stanice a zemědělského statku a také výrobu elektrické energie dodávané do rozvodné sítě. V roce 2010 prošla stanice modernizací, kdy došlo k vybudování nového

a úpravě stávajících fermentorů, u kterých došlo k úpravě míchacích zařízení. Nově vybudovaný obdélníkový betonový fermentační reaktor byl zařazen jako první stupeň fermentace a dva ze stávajících kruhových reaktorů jako druhý stupeň a zbylý kruhový reaktor slouží jako dohňovací skladovací nádrž. Tato úprava umožnila používání substrátu s vyšší vstupní sušinou (cca 22 % místo cca 11 %) a vyšším zatížením systému, kdy není nutné přidávat záměsovou vodu. Dále byl proces adaptován na termofilní proces při teplotě 53°C, který zvýšil produkci bioplynu. Zároveň s tím byla za použití nové kogenerační jednotky zvýšena i produkce elektrické energie z cca 500 kWh na 1381 kWh.

Technické údaje:

- Vstupní suroviny: kukuřičná siláž, travní senáž, vepřové kejda
- Sušina vstupu: cca 22 %
- Zatížení procesu: 8,9 kg/m³/den
- Doba zdržení substrátu: 78 dní
- Proces: termofilní dvoustupňový při teplotě 53 °C
- Výkon kogeneračních jednotek: 1381 kWh [11]

5.2 Odběr vzorku

Vzorek digestátu byl odebírán v několika časových intervalech z důvodu eliminace změn probíhajících ve vzorku, v důsledku neustále probíhajících procesů nedokončených při anaerobní fermentaci, čímž docházelo k dalšímu rozkladu doposud nerozložených látek a změnám ve složení digestátu i fugátu. Zároveň se tím napodoboval technologický proces obměny digestátu a délka zdržení ve skladovací fermentační nádrži před jeho konečnou likvidací, např. vývozem na pole. Odběr probíhal ze skladovací nádrže přes výpustný ventil do plastových kanystrů.

5.3 Zpracování vzorku

Vzorek digestátu byl po odebrání odstředěn pro oddělení tekuté fáze digestátu, fugátu, od tuhého separátu. Další experimenty byly prováděny pouze s fugátem. Vzorek byl odstředován po dobu 5 minut při 4100 rpm pomocí odstředivky Merci Centrifuga NF 800 v 200 ml kyvetách. Digestát byl rozdělen v poměru cca 70% fugátu ku 30% separátu.



Obrázek 5 příprava vzorku fugátu odstředěním, vlevo hladina naplnění kyvet, vpravo množství separátu

5.4 Testování vybraných flokulantů při separaci tuhé fáze z fugátu

Neboť nebyl znám možný účinek při použití organických flokulantů na tento druh vod, byl proveden výběr z v laboratoři dostupných činidel. Byly vybrány jak anionaktivní, tak kationaktivní organické flokulanty, aby se zjistilo, zda a jak fungují. Z mnoha dostupných byly z anionaktivních flokulačních činidel vybrány SOKOFLOK 12, SOKOFLOK 26 a dále pak kationaktivní flokulační činidla SOKOFLOK 56 GP, SOKOFLOK 61, SOKOFLOK 68, SOKOFLOK 109, SUPERFLOC c 475, SUPERFLOC c 496. Všechna činidla byla krystalické povahy a byla před použitím rozpuštěna v destilované vodě pomocí magnetického míchadla. Míchání probíhalo po dobu 1 hodiny. Tímto způsobem byly připraveny flokulační roztoky o koncentraci 0,1%, tj. bylo dávkováno 0,1g činidla do 100 ml destilované vody.



Obrázek 6 Příprava flokulačního činidla SOKOFLOK 109, pomocí magnetického míchadla

Aby bylo dosaženo viditelnějšího a prokazatelnějšího fungování flokulačních činidel, bylo po dohodě s vedoucí této práce bylo rozhodnuto, že vzorek fugátu bude před nadávkováním činidla ředěn destilovanou vodou. Proto byl vypracován návrh ředění, podle kterého se pro prvotní zkoušení činidel použilo ředění vzorku fugátu destilovanou vodou v poměru 1:10. Pro následující práci bylo rozhodnuto u vhodného činidla postupně měnit tento ředící poměr, aby byl nalezen vhodný poměr pro praktické použití této metody.

Pro prvotní zkoušení vhodnosti použitých flokulačních činidel byla připravena řada vzorků fugátu naředěného v poměru 1:10 destilovanou vodou o objemu 100 ml, do kterých bylo přidáváno 0,5; 1; 2; 5; 7; 10; 15; 30 a 50 ml flokulantu. Vzorky s nadávkovánými činidly byly nejprve rychle, aby došlo k dokonalému smísení činidla se vzorkem a posléze pomaleji promíchávány, aby nedošlo k případnému rozrušení vzniklého agregátu, promíchány pomocí skleněné tyčinky. Postup míchání byl posléze v průběhu testování činidel modifikován, aby více vyhovoval praktickému použití, tak že vzorek byl promícháván přeléváním z jedné kádinky do druhé. Každým přelitím byl simulován jeden metr cesty reálným potrubím, vzorek byl přelíván dvanáctkrát, což přibližně odpovídá průměrné délce potrubí používané v provozu. Vycházel jsem z metody používané

v provozu při stanovování účinnosti flokulantů používaných na čistírnách odpadních vod. Během přelévání, pokud dané činidlo fungovalo, docházelo k tvorbě stabilní vločky.

V případě, že byla zaznamenána reakce činidla se vzorkem fugátu ve formě vytvořené vločky, bylo pro vyhodnocení účinnosti daného činidla a dávky, která jevila zjevnou tvorbu agregátů, provedeno zfiltrování pomocí filtračního papíru KA 3 s vysokou rychlostí filtrace a ve filtrátu bylo stanoveno CHSK_{Cr} v mg/l. Jakožto ukazatele účinnosti, neboť pokud daný flokulant fungoval, došlo k poklesu této hodnoty, neboť se na vzniklý agregát nachytaly jemné disperzní částice, které již dále nepodléhaly oxidaci. Stanovení probíhalo v laboratoři Technologie vody – Institutu environmentálního inženýrství Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava podle návodů do cvičení pro stanovení CHSK_{Cr} . Z důvodů měřicího rozsahu spektrofotometru DR 2000 HACH a vlastností vzorku fugátu, bylo nutné před provedením stanovení CHSK_{Cr} provést ředění.

Na základě těchto zkoušek bylo zjištěno, že vybraná anionaktivní flokulační činidla nejeví na daném vzorku fugátu žádný účinek a nevytvořila se tak žádná vločka, neboť tyto flokulanty jsou zaměřeny spíše na anorganické sloučeniny, které i když mohou být z části přítomny ve fugátu, nemají v tomto případě vliv. Hlavních výsledků dosahovaly kationaktivní flokulanty, na které bylo další zkoumání zaměřeno.

Podle výsledků hodnot CHSK_{Cr} u jednotlivých činidel a dávek byl jako nejvhodnější flokulant použitelný na tento typ vod flokulant SOKOFLOK 61, neboť vykazoval nejvyšší účinnost odstranění znečištění v závislosti na dávce. S tímto flokulantem byly dále prováděny pokusy.

Pokusy s flokulantem SOKOFLOK 61 byly zaměřeny na přesnější určení dávky potřebné k dosažení požadovaných výsledků. Postup práce byl takový, že po zhodnocení dosažených výsledků s vyšší dávkou flokulantu, bylo rozhodnuto pokusit se snížit ředící poměr, aby dosahované výsledky byly praktičtěji použitelné. Postupným měněním ředícího poměru bylo zjištěno, že nejnižší poměr, při kterém ještě docházelo k tvorbě vloček, byl 1:4 (fugát : ředící vodě) a s tímto poměrem bylo dále pracováno. Po změně množství používané ředící vody byla vytvořena nová řada vzorků, do nichž byl dávkován flokulant. V prvním hrubém pokusu bylo činidlo dávkováno v dávkách 30; 40; 50; 60; 70; a 80 ml na 100 ml vzorku fugátu ředěného v poměru 1:4 ředící destilovanou vodou. Aby byla určena přesnější dávka činidla, bylo provedeno dávkování v nižších rozestupech po 5 ml, navíc

bylo provedeno zúžení řady, kdy byly vypuštěny dávky 40 a 80 ml, neboť na základě hodnot $CHSK_{Cr}$ bylo rozhodnuto, že přesnější dávka by měla vycházet mezi těmito hodnotami. Toto rozhodnutí vycházelo z faktu, že v hodnotách $CHSK_{Cr}$ filtrátu bylo možné vyzorovat postupnou klesající tendenci hodnot a po dosažení minimální hodnoty opětovný nárůst, který byl způsoben předávkováním organického flokulantu, jehož organický charakter dále do pokusu vnášel přebytečné organické látky, které již nebyly vyčerpány na tvorbu agregátu a projevilo se tímto nárůstem. Vyhodnocení výsledků $CHSK_{Cr}$ bylo rovněž grafické.

Tyto dosavadní pokusy byly prováděny na vzorku fugátu z prvního odběru pro všechna vybraná činidla, aby výběr vhodného nebyl ovlivněn nestejnorodostí vzorku. Následoval další odběr vzorku digestátu, u něhož proběhla stejná předúprava jako v předchozím případě pomocí odstředění tuhé fáze. U takto připraveného vzorku byla zopakována řada různých dávek pro její upřesnění. Dávkováno bylo 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95 a 100 ml flokulantu SOKOFLOK 61 na 100 ml vzorku fugátu ředěného v poměru 1:4 destilovanou vodou. U takto provedené řady bylo opět provedeno stanovení $CHSK_{Cr}$ ve filtrátu, který byl získán odfiltrováním vzniklých vloček kalu, a bylo možné pozorovat, že oproti předchozím vyhodnocením došlo k posunu nejvhodnější dávky na hodnotu 85 ml z původních 65 ml, což mohlo být způsobeno nehomogenitou vzorku fugátu. Hodnota nejlepší dávky u nového odebraného vzorku byla znova ověřena pomocí $CHSK_{Cr}$ filtrátu a tato dávka byla nadále považována za nejvhodnější a byla použita pro následný rozbor.

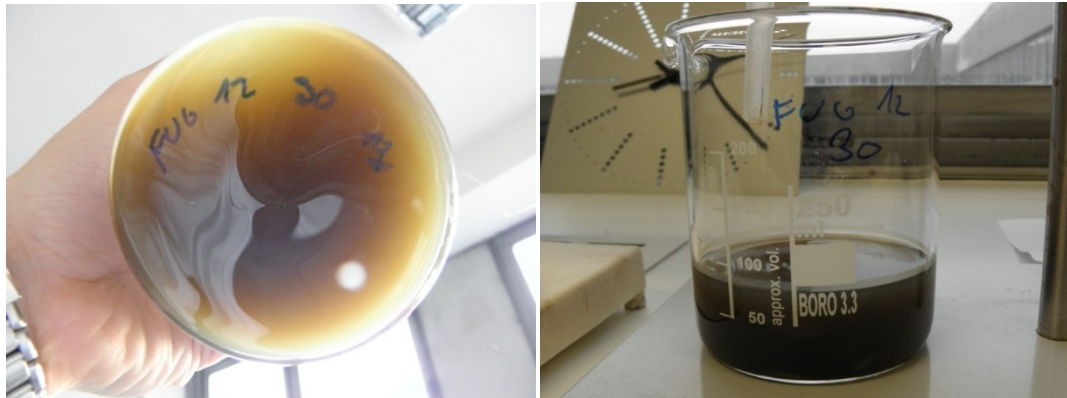
V následujícím rozboru bylo u zkoumaného flokulačního činidla provedeno, v laboratoři Technologie vody – Institutu environmentálního inženýrství Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava, několik stanovení pro posouzení jeho účinnosti. Veškeré následující rozborby byly prováděny stejně i se vstupním vzorkem fugátu, aby bylo možno posoudit a porovnat vhodnost flokulantu SOKOFLOK 61 na fugát. Kromě provedení stanovení $CHSK_{Cr}$, kterým se stanovily veškeré oxidovatelné látky nejen čistě organického původu, bylo provedeno stanovení BSK_5 tohoto vzorku. Dalším stanovením bylo určení sušiny filtrátu s nadávkovaným činidlem, stanovení hodnot celkového fosforu a nakonec bylo v laboratorních podmínkách provedeno stanovení různých forem dusíku. Jednotlivé rozborby probíhaly podle návodů do laboratoří technologie vody.

Pro ověření laboratorních výsledků byly vzorky vstupního fugátu a výstupního filtrátu po použití flokulantu SOKOFLOK 61 analyzovány v akreditované laboratoři *Laboratoř MORAVA s.r.o.* Protokol č.3508, 3510/14 z Laboratoře Morava je součástí příloh. Před tímto rozbořem proveden další odběr čerstvého vzorku digestátu pro závěrečné ověření vybraného flokulantu.

5.5 Flokulační činidla

SOKOFLOK 12

Jedná se o anionaktivní flokulační činidlo a v případě aplikace na vzorek fugátu ředěném v poměru 1:10 destilovanou vodou nejevil v žádné dávce, ve které byl aplikován žádnou reakci ve formě tvorby vloček. Pro další zkoumání byl vyřazen.



Obrázek 7 Flokulant SOKOFLOK 12 dávka, 30 ml, fugát ředěný 1:10

SOKOFLOK 26

Jedná se o anionaktivní flokulační činidlo a v případě aplikace na vzorek fugátu ředěném v poměru 1:10 destilovanou vodou nejevil v žádné dávce, ve které byl aplikován žádnou reakci ve formě tvorby vloček. Pro další zkoumání byl vyřazen.



Obrázek 8 Flokulant SOKOFLOK 26, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10

SUPERFLOC c496

Jedná se o kationaktivní flokulační činidlo, které při aplikaci na vzorek fugátu ředěném v poměru 1:10 destilovanou vodou neprokázalo vznik vloček a pro další postupy bylo vyřazeno z výzkumu.



Obrázek 9 Flokulant SUPERFLOC c 496, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10

SOKOFLOK 56 GP

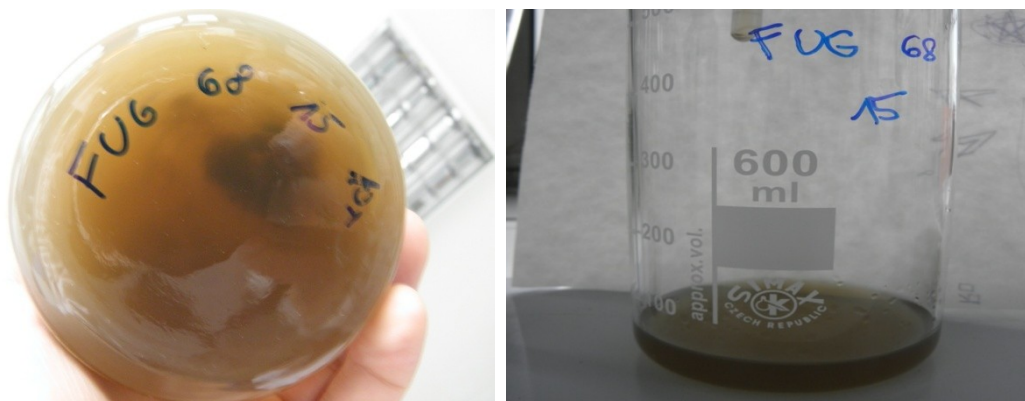
Jedná se kationaktivní flokulační činidlo, u kterého nedošlo k tvorbě požadovaných vloček ve vzorku fugátu ředěném v poměru 1:10 destilovanou vodou u žádné aplikované dávky. Pro další zkoumání byl vyřazen.



Obrázek 10 Flokulant SOKOFLOK 56 GP, dávka 15ml, fugát ředěný 1:10

SOKOFLOK 68

Jedná se o kationaktivní flokulační činidlo. Vzhledem k povaze flokulantu schopného vázat organické znečištění došlo k tvorbě agregátu při dávkování do fugátu ředěného v poměru 1:10 destilovanou vodou. Po proběhnutí srážení byla provedena filtrace a ve filtrátu bylo stanoveno CHSKCr pro dávku 15 ml flokulantu na 100 ml vzorku, které bylo porovnáváno s ostatními činidly, CHSKCr zde bylo 1739 mg/l tato hodnota vykazovala snížení oproti hodnotě CHSKCr vstupního fugátu, ředěného stejným způsobem jako zkoumaný vzorek, které bylo 1960 mg/l. Ve srovnání s ostatními činidly však toto snížení nebylo dostatečné a pro další výzkumy byl vyřazen.



Obrázek 11 Flokulant SOKOFLOK 68, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10

SOKOFLOK 109

Kationaktivní flokulační činidlo, které bylo dávkováno do vzorku fugátu ředěného v poměru 1:10 ředící destilovanou vodou a při aplikaci dávek 0,5; 15 a 30 ml flokulantu na 100 ml vzorku způsobilo tvorbu mazlavého agregátu. Opět byla provedena filtrace a stanoveno CHSK_{Cr} , pro dávku 15 ml flokulantu na 100 ml vzorku, které bylo v tomto případě 1684 mg/l, což je opět pokles vůči hodnotě CHSK_{Cr} vstupního fugátu, ředěného ve stejném poměru, které bylo 1960 mg/l. Při porovnání srovnatelné dávky 15 ml flokulantu na 100 ml fugátu s ostatními činidly bylo rozhodnuto o vyřazení v dalším zkoumání, neboť pokles nebyl dostatečný.



Obrázek 12 Flokulant SOKOFLOK 109, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10

SUPERFLOC c475

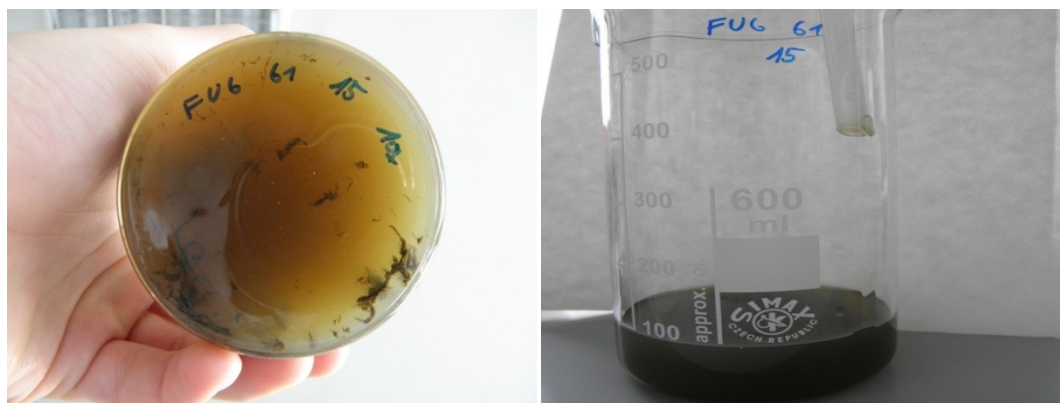
Další ze zástupců kationaktivních flokulantů použitý pro prvotní stanovení jeho účinnosti při flokulaci, jenž byl aplikován na vzorek fugátu ředěného destilovanou vodou v poměru 1:10, téměř nevykazoval tvorbu požadovaného flokulačního agregátu. Byla provedena filtrace a stanovení CHSK_{Cr} filtrátu a u srovnávací dávky 15 ml flokulačního činidla na 100 ml vzorku bylo zjištěno CHSK_{Cr} 1522 mg/l, což je vůči hodnotě CHSK_{Cr} vstupního vzorku fugátu ředěného stejným způsobem 1:10 ředící vodou pokles, hodnota CHSK_{Cr} byla 1960 mg/l, avšak ve srovnání s ostatními činidly nevykazoval uspokojivé výsledky a nebyly s ním dále prováděny pokusy.



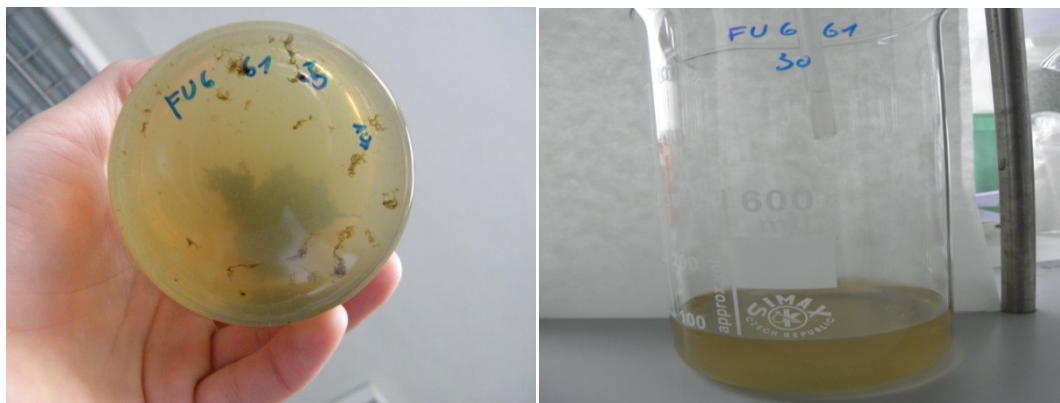
Obrázek 13 Flokulant SUPERFLOC c 475, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10

SOKOFLOK 61

Toto kationaktivní flokulační činidlo vykázalo při zkušebním dávkování ve vzorku fugátu naředěném v poměru 1:10 destilovanou vodou vytvoření požadovaných vloček a při porovnání hodnot $CHSK_{Cr}$ srovnávací dávky, 15 ml flokulantu na 100 ml vzorku, testovaných činidel vykázalo nejlepší hodnoty, kdy došlo k nejvyššímu snížení znečištění vzorku a z tohoto důvodu bylo toto činidlo vybráno pro další postup zkoumání jeho účinnosti. $CHSK_{Cr}$ zde bylo 982 mg/l a vstupní $CHSK_{Cr}$ při tomto ředění bylo 1960 mg/l.



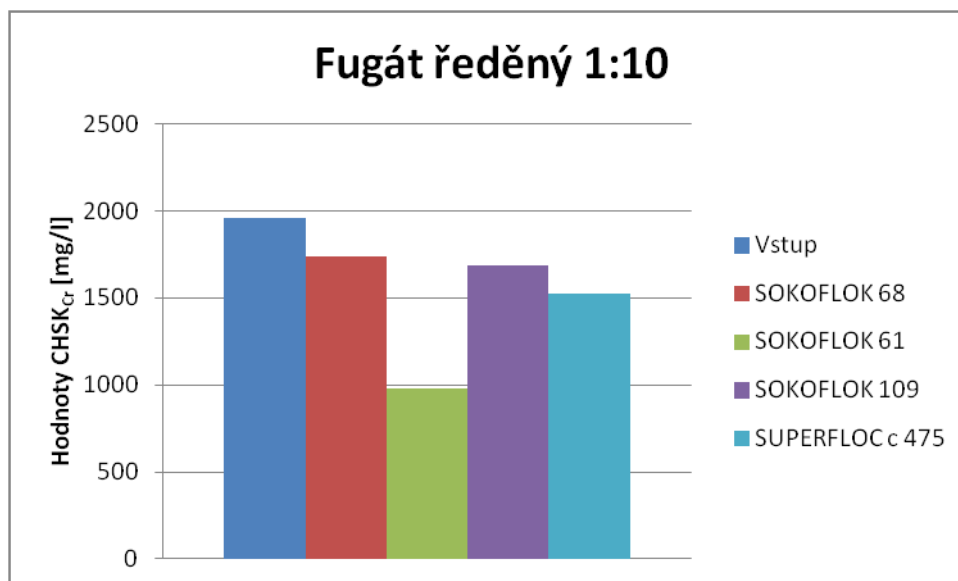
Obrázek 14 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10



Obrázek 15 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 30 ml, fugát ředěný 1:10

Tabulka 3 Srovnání hodnot $CHSK_{Cr}$ při použití různých flokulačních činidel

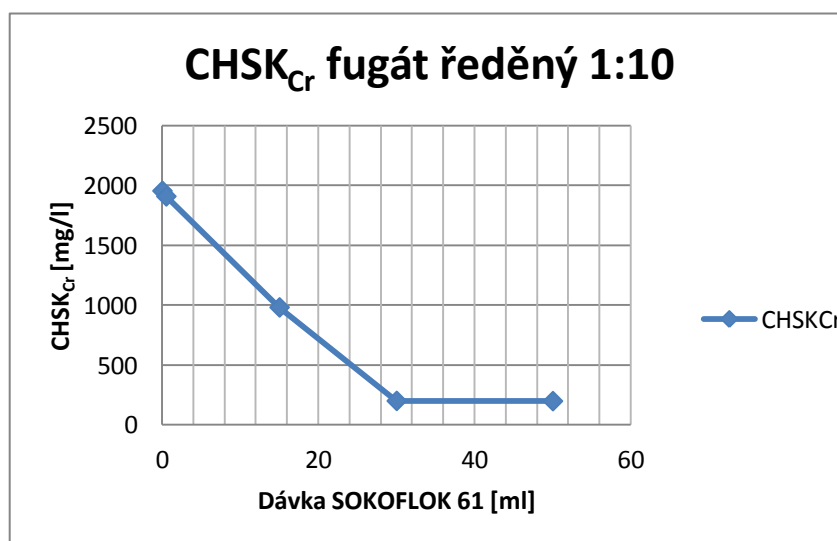
Flokulant 0,1 % Ø	Ředění fugátu	$CHSK_{Cr}$
Jednotka		[mg/l]
Vstup	1:10	1960
SOKOFLOK 68	1:10	1739
SOKOFLOK 61	1:10	982
SOKOFLOK 109	1:10	1684
SUPERFLOC c 475	1:10	1522



Graf 1 Srovnání výsledků CHSK_{Cr} při použití různých flokulačních činidel

Tabulka 4 Hodnoty CHSK_{Cr} pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:10

Vzorek	Dávka SOKOFLOK 61 0,1% Ø	Ředění fugátu	CHSK _{Cr}
Jednotka	[ml]		[mg/l]
Fugát	0	1:10	1956,3
	0,5	1:10	1910,2
	15	1:10	982,7
	30	1:10	201,7
	50	1:10	199,9



Graf 2 Účinnost dávky flokulantu SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:10

Navíc vzniklá vločka měla nejkompaktnější charakter, na dotek připomínající houbu, kdežto u předchozích flokulantů se jednalo spíš o mazlavou hmotu, která měla snahu ulpívat na povrchu kádinek.

Po té, co bylo toto činidlo vybráno jako nejvhodnější k provádění dalších pokusů, bylo rozhodnuto najít vhodnější poměr ředění vzorku fugátu ředící vodou, při které by proces flokulace pobíhal a zároveň by byl vhodnější pro praktické užití. Pokus byl prováděn tak, že byla vytvořena řada kádinek s různě naředěným vzorkem fugátu ředící destilovanou vodou, v poměrech 1:1, 1:2,...1:9. Do takto připravených vzorků fugátu bylo dávkováno vybrané flokulační činidlo a byl hledán poměr, při kterém došlo k tvorbě vloček. Bylo postupováno tak, že u všech vzorků byla postupně zvyšována dávka činidla a bylo porovnáváno, kde a kdy dojde k tvorbě shluků. Podle této metodiky byl pro další experimentální činnost vybrán ředící poměr fugátu a ředící vody 1:4. Pro tento poměr byla vhodná dávka 50 ml flokulantu, která se vůči ostatním vzorkům s nižším ředícím poměrem nejlépe projevila. Vzorky s vyšším ředícím poměrem, byly pro další experimenty vyřazeny, neboť pro praktické použití zbytečně vnášely do procesu vodu.



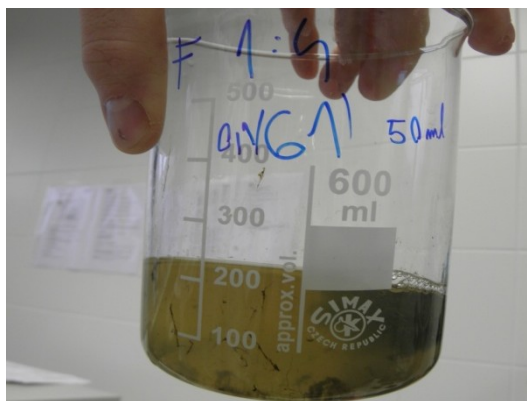
Obrázek 16 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:1



Obrázek 17 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:2



Obrázek 18 Flokulant 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:3



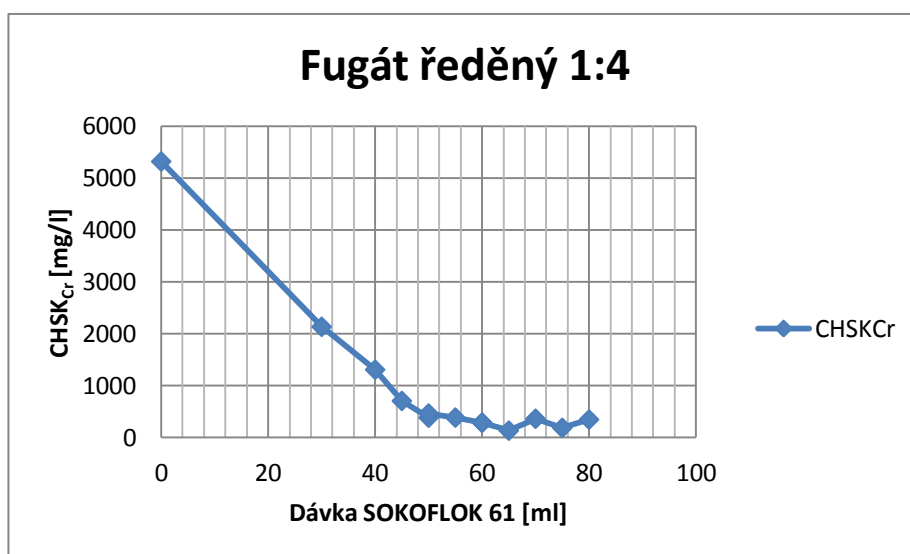
Obrázek 19 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:4

Poté co bylo nalezeno vhodné ředění vzorku, byly na takto připraveném vzorku prováděny další experimenty. Následujícím krokem bylo stanovení dávky potřebné k co největšímu snížení znečištění vzorku. Toto bylo provedeno na řadě vzorků o objemu 100 ml s různými dávkami činidla, nejprve bylo provedeno hrubé zacílení potřebné dávky

v násobcích 10 ml činidla a následně upřesnění pomocí násobků 5 ml. Po ověření bylo zjištěno, že k nejvyššímu snížení dochází oproti vstupnímu vzorku fugátu u dávky 85 ml flokulantu SOKOFLOK 61 na 100 ml vzorku. Účinnost byla posuzována podle hodnot $CHSK_{Cr}$ kdy došlo k snížení oproti vstupnímu vzorku fugátu, naředěném ve stejném poměru jako výstup, z hodnoty $CHSK_{Cr}$ 5328,4 mg/l v 1. stanovení na $CHSK_{Cr}$ 400,84 mg/l a v 2. stanovení na $CHSK_{Cr}$ 372,2 mg/l. S dávkou 85 ml byly dále prováděny další rozborů.

Tabulka 5 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, prvotní stanovení dávky

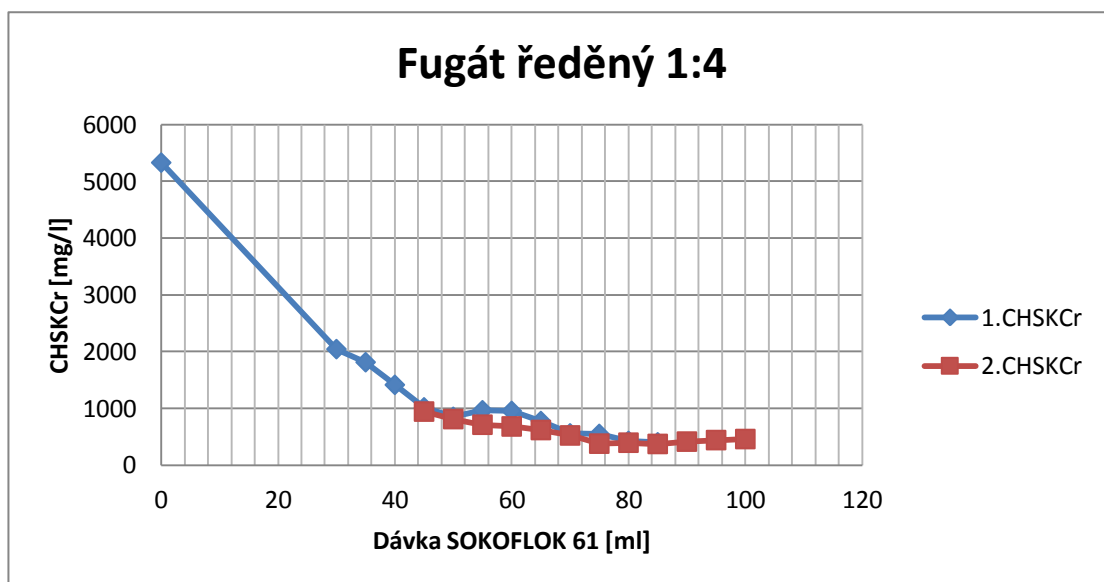
Vzorek	Dávka SOKOFLOK 61 0,1% Ø	Ředění fugátu	$CHSK_{Cr}$
Jednotka	[ml]		[mg/l]
Fugát	0	1:4	5320,2
	30	1:4	2137,8
	40	1:4	1310,9
	45	1:4	710,2
	50	1:4	386,8
	50	1:4	467,5
	55	1:4	389,11
	60	1:4	290
	60	1:4	291,18
	65	1:4	138,09
	70	1:4	366,8
	75	1:4	191,19
	80	1:4	350,8



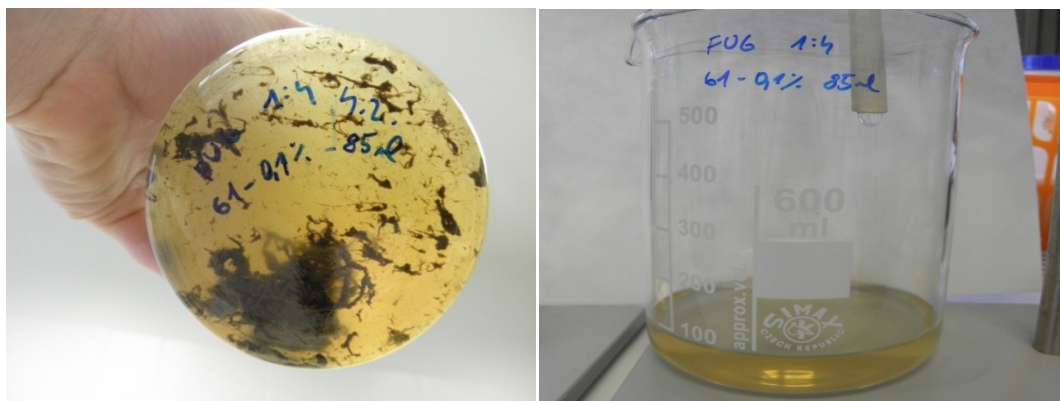
Graf 3 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, odhad dávky

Tabulka 6 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, stanovení účinné dávky

Vzorek	Dávka SOKOFLOK 61 0,1% 0	Ředění fugátu	1. $CHSK_{Cr}$	2. $CHSK_{Cr}$
Jednotka	[ml]		[mg/l]	[mg/l]
Fugát	0	1:4	5328,4	
	30	1:4	2042,9	
	35	1:4	1811,9	
	40	1:4	1413,7	
	45	1:4	1016,82	942,86
	50	1:4	849,93	810,62
	55	1:4	965,44	710,81
	60	1:4	954,58	680,42
	65	1:4	775,63	617,19
	70	1:4	558,75	522,2
	75	1:4	549,44	377,56
	80	1:4	425,83	394,11
	85	1:4	400,83	372,21
	90	1:4		413,21
	95	1:4		440,31
	100	1:4		458,41



Graf 4 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, upřesnění dávky



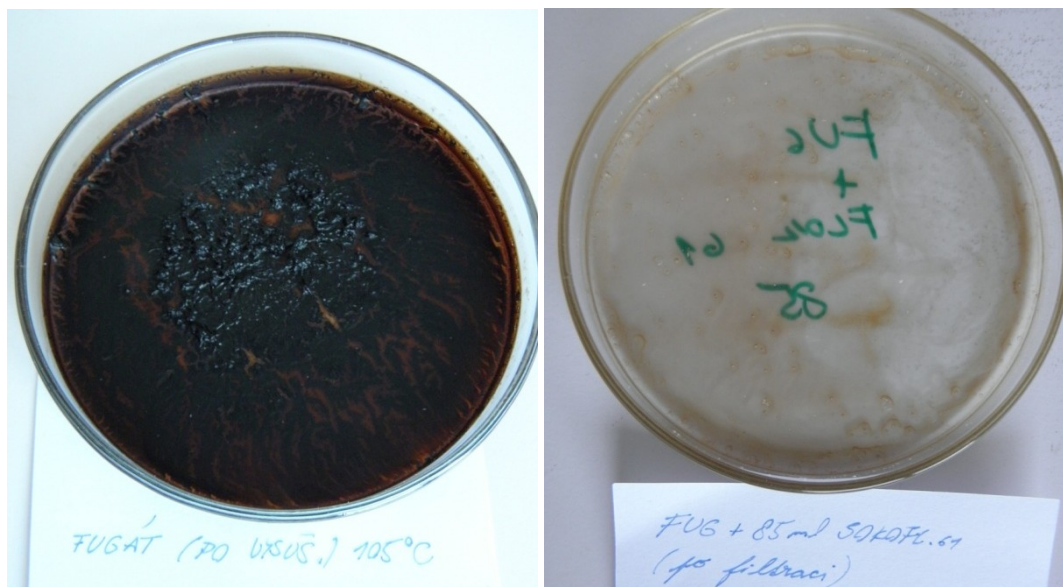
Obrázek 20 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Kromě CHSK_{Cr} jakožto ukazatele snížení obsahu chemicky oxidovatelných látek bylo provedeno stanovení biologicky rozložitelných látek provedením stanovení BSK_5 .

Tabulka 7 Hodnoty BSK_5 flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	Den	Objem kyslíkové láhve	Spotřeba $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Hmotnostní koncentrace kyslíku ve vzorku	Objem původního vzorku v 1 litru zředěného vzorku	BSK_5
Jednotka		[ml]	[ml]	[mg/l]	[ml]	[mg/l]
Fugát vstup	0	297,84	6,06	8,25	0,5	2786,08
	5	307,00	3,78	4,99		
F85	0	297,84	6,30	8,58	200	15,48
	5	295,93	2,91	3,99		
Ředící voda	0	320,13	6,80	8,60		
	5	295,53	4,91	6,74		

Mezi rozборы pro zjištění účinnosti flokulantu SOKOFLOK 61 patřilo stanovení sušiny vzorku vstupního fugátu i vzorku po aplikaci 85 ml flokulantu, které prokázalo výrazné snížení množství rozptýlených látek.



Obrázek 21 Stanovení sušiny, vlevo vstupní fugát, vpravo filtrát fugátu s flokulantem SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Tabulka 8 Hodnoty sušiny, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	Hmotnost prázdných misek	Hmotnost misek po vysušení (105°C)	Objem vzorku	Rozdíl misek	Sušina
Jednotka	[g]	[g]	[ml]	[g]	[mg/l]
Fugát vstup	44,14	44,63	25	0,49	19504,00
F 85	43,30	43,32	25	0,02	924,00

K dalším stanovením patřilo stanovení obsahu biogenních prvků, dusíku a fosforu, které mají vliv na růst zelených rostlin. Dusík byl stanovován ve formě dusičnanů, dusitanu a amonných iontů. Výsledky jednotlivých stanovení jsou uvedeny v tabulkách podle jednotlivých forem, pouze stanovení dusitanů zde nebylo možné provést, neboť jeho hodnoty byly mimo měřicí rozsah. U fosforu bylo provedeno stanovení celkového fosforu.

Tabulka 9 Hodnoty dusičnanů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	Ředění fugátu	NO ₃ ⁻ změřený
Jednotka		[mg/l]
Fugát vstup	1:0	<0,5
	1:8	<0,5
F 85		<0,5

Tabulka 10 Hodnoty amonných iontů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	Ředění fugátu	NH ₄ ⁺ změřený	Ředění při stanovení	NH ₄ ⁺ po přenásobení ředěním
Jednotka	1:	[mg/l]		[mg/l]
Fugát vstup	1:0	1,58	1500	2370,00
F 85	1:4	1,45	200	290,00
2. kontrolní stanovení				
Fugát vstup	1:0	2,54	1000	2540,00
F 85	1:4	1,36	200	272,00

Tabulka 11 Hodnoty dusitanů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	NO ₂ ⁻ změřený
Jednotka	[mg/l]
Fugát vstup	<0,5
F 85	<0,5

Tabulka 12 Hodnoty celkového fosforu, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Vzorek	Ředění fugátu	P _{celk} změřený	Ředění při stanovení	P _{celk} po přenásobení ředěním
Jednotka		[mg/l]		[mg/l]
Fugát vstup	1:00	0,85	250	212,50
F 85	1:4	0,55	10	5,50

Veškeré provedené stanovení byly pro přesnost zároveň provedeny v Laboratoři Morava.

Tabulka 13 Hodnoty výsledků z Laboratoř Morava, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4

Ukazatel	Jednotka	Fugát vstup	Fugát vstup ředěný 1:8	F85	Účinnost %
Amonné ionty	[mg/l]	2600	288,9	259	10,35
Dusitany	[mg/l]	-	-	<0,02	
Dusičnany	[mg/l]	<2,0	-	<2,0	
Dusík celkový	[mg/l]	2510	278,9	227	18,61
BSK 5	[mg/l]	2400	266,7	13	95,13
CHSK Cr	[mg/l]	24800	2755,6	378	86,28
Sušina	[mg/l]	21500	2388,9	1020	57,30
Fosfor	[mg/l]	213	23,7	7,38	68,82

6 Vyhodnocení

Po provedení a porovnání výsledků z laboratorních zkoušek provedených v laboratořích Institutu environmentálního inženýrství a v akreditované laboratoři Laboratoř Morava s.r.o. bylo zjištěno, že nejvhodnějším flokulačním činidlem na tento vzorek fugátu je SOKOFLOK 61 a to v dávce 85 ml na 100 ml vzorku, který však musí být před nadávkováním flokulantu ředěn ředící vodou v poměru 1:4 (fugát : ředící voda). Hodnoty odstranění koloidních látek je možné vidět v příložené tabulce.

Tabulka 14 Souhrn výsledků a porovnání s výsledky z Laboratoře Morava

Rozbor	Vzorek	Amonné ionty	Dusitany	Dusičnany	Celkový dusík	BSK ₅	CHSK _{Cr}	Sušina	Fosfor
	Jednotka	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Laboratoř Morava	Fugát vstup	2600	-	<2,0	2510	2400	24800	21500	213
	Fugát ředěný 1:8	288,89			278,89	266,67	2755,56	2388,89	23,67
	F 85	259	<0,02	<2,0	227	13	378	1020	7,38
	Účinnost [%]	10,35			18,61	95,13	86,28	57,30	68,82
Vlastní rozbor	Fugát vstup	2540	-	<0,5	-	2786,08	21313	19504	212,5
	Fugát ředěný 1:8	282,22				309,56	2368,11	2167,11	23,61
	F 85	272	-	<0,5		15,48	386,52	924	5,5
	Účinnost [%]	3,62				95,00	83,68	57,36	76,71

7 Diskuze a závěr

Účelem této diplomové práce bylo testování vybraných flokulačních činidel při separaci tuhé fáze z fugátu. Za tímto účelem bylo provedeno shrnutí problematiky fermentačních procesů a produkce digestátu a jakožto koncového produktu bioplynové stanice. Dále byla provedena charakteristika procesu flokulace a flokulačních činidel a proveden přehled v dnešní době používaných a dostupných flokulačních činidel. K určení zda a jakým způsobem budou flokulační činidla na odstraňování tuhé fáze z fugátu fungovat byly v rámci praktické části této práce provedeny odběry vzorků ze zemědělské bioplynové stanice Farma Stonava, zpracovávající pro proces anaerobní fermentace kukuřičnou siláž a kejdu z velkochovu prasat. Daný vzorek byl odebrán ve formě digestátu ze skladovací nádrže a následně pomocí odstředivky rozdělen na fugát a tuhý separát. Z dostupných flokulantů byl proveden výběr flokulačních činidel, která byla následně testována. Počáteční zkoušky pro určení zda a který flokulant funguje, probíhaly v naředěném vzorku 1:10 s ředící vodou, na řadě vzorků, do kterých byly dávkovány různé

dávky pro každý flokulant. Flokulanty byly připravované jako 0,1 % roztoky. Po provedení nadávkování řady flokulačních činidel bylo provedeno vizuální vyhodnocení a v případě, že došlo u daného činidla k tvorbě agregátu, byla u něj provedena filtrace přes filtrační papír a následně bylo ve vzorku filtrátu provedeno stanovení $CHSK_{Cr}$ ve srovnatelné stejné dávce pro všechny takto vyhovující činidla. Následně byly hodnoty $CHSK_{Cr}$ mezi sebou porovnány a na jejich základě byl vybrán flokulant s nejlepší účinností odstranění koloidů, tedy s nejnižší hodnotou $CHSK_{Cr}$. S tímto činidlem SOKOFLOK 61, byly dále prováděny zkoušky pro určení nejvhodnějšího poměru ředění a nejúčinnější dávky. I když bylo dosaženo relativně dobré účinnosti tohoto činidla na odstranění nečistot cca 85,5 %, je zde však zásadní problém, neboť díky nutnosti přidání ředící vody pro průběh flokulačního procesu z, které bylo 1:4 fugát s ředící vodou, bylo s flokulačním roztokem do procesu nutné dávkovat téměř dalších 85 ml vody a tímto se výsledný poměr zvýšil na cca 1:8 (fugát:ředící voda). Mezi další nevýhody takto navrženého postupu je nákladné prvotní odstředění a nakonec ještě nutnost zařazení filtračního procesu. A v neposlední řadě nutná vysoká dávka flokulantu pro účinnou separaci tuhou fází z fugátu. Proto není vhodné, především z ekonomického důvodu, tento testovaný postup čištění fugátu doporučit. A je nutné hledat další řešení tohoto problému například kombinací koagulačních a flokulačních činidel případně testování jiných procesů.

8 Použitá literatura

- 1 LYČKOVÁ, B., FEČKO, P., KUČEROVÁ, R.: *Využití odpadních kalů*. Projekt FRVŠ č.639/2008 Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. VŠB-TUO. 2008. Dostupné na WWW:<<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/vyuziti.html>>.
- 2 DOHÁNYOS, M., ZÁBRANSKÁ, J., JENÍČEK, P.: *Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí*. Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha 1996. - 172 s. : il. ISBN 80-85368-90-0 (brož.).
- 3 SCHULZ, H., EDER, B.: *Bioplyn v praxi*, přel. ŠEDIVÁ, M., 1. české vydání, nakladatelství HEL. Ostrava 2004. 186 s, ISBN 80-86167-21-6
- 4 DOHÁNYOS, M.: *Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace* [online]. *Biom.cz*. [cit. 2014-20-3]. ISSN: 1801-2655. Dostupné na WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.
- 5 *Věstník ministerstva životního prostředí*. Srpen-Září 2008. Ročník XVII. Metodický pokyn ministerstva životního prostředí – sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP [online]. [cit. 2014-20-3]. Dostupné na WWW<[http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/FD0B0C02EA4F6135C12574DC0055BBB/\\$file/94229973.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/FD0B0C02EA4F6135C12574DC0055BBB/$file/94229973.pdf)>.
- 6 ŠVEC, J., KÁRA, J., VÁŇA, J., PASTOREK, J., MACHÁLEK, E.: *Využití obnovitelných zdrojů v zemědělství zemědělské bioplynové stanice* [online]. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.. Chrudim. Nakladatelské zpracování: Caillisto-96. [cit. 2014-21-3]. Dostupné na WWW <http://eagri.cz/public/web/file/59655/Sbornik_prispevku.pdf>.
- 7 MARADA, P., VEČEŘOVÁ, V., KAMARÁD, L., DUNDALOVÁ, P., MAREČEK, J.: *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem* [online]. MZLU 2008. [cit. 2014-19-3]. Dostupné na WWW: <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>.
- 8 KUŽEL, S., KOLÁŘ, L., PETERKA, J., HŘEBEČKOVÁ, J.: *Jak efektivně využívat digestát z bioplynových stanic*. Energie 21. 3/10. Praha 2010. <http://energie21.cz/jak-efektivne-vyuzit-digestat/>

- 9 KOLÁŘ, L., VANĚK, V., KUŽEL, S.: *Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv – sborník z konference* [online]. ISBN 978-80-213-2006-2. [cit. 2012-13-2]. Dostupné na WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-bioplynovych-stanic>>.
- 10 *Parciální tlak* [online] [cit. 2014-20-3]. Dostupné z WWW:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Parci%C3%A1ln%C3%AD_tlak>
- 11 *Bioplynová stanice Farma Stonava* [online]. [cit. 2014-10-4]. Dostupné na WWW: <<http://www.farmastonava.cz/bioplynova-stanice/>>.
- 12 DOHÁNYOS, M.: *Bilance tvorby bioplynu – metanizace*[online]. [cit. 2014-29-3]. Dostupné NA WWW: <<http://www.czba.cz/bilance-tvorby-bioplynu-metanizace.html>>.
- 13 *Anaerobní technologie* [online]. BIOPROFIT s.r.o. [cit. 2014-21-4]. Dostupné na WWW: <http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm>.
- 14 KAŇOK, M.: *Současný stav nakládání s odpadními vodami z bioplynových stanic*. bakalářská práce. VŠB-TOU. Ostrava 2012.
- 15 ROZBROJ, D.: *Sledování vlastností digestátu z vybraných bioplynových stanic*. diplomová práce. VŠB-TOU. Ostrava 2012.
- 16 VIDLÁŘOVÁ, P.: *Testování koagulačních činidel při separaci tuhé fáze v odpadním produktu z anaerobní digesce*. bakalářská práce. VŠB-TOU. Ostrava 2013.
- 17 VEČEŘOVÁ, V.: *Digestát jako hnojivo* [online]. [cit. 2014-29-3]. Dostupné na WWW:<<http://www.calla.cz/data/energetika/seminare/bioplyn/VecerovaBPS.pdf>>.
- 18 *What is Digestate?*[online]. The Official Information Portal on Anaerobic Digestion. [cit. 2014-29-3]. Dostupné na WWW:<<http://www.biogas-info.co.uk/index.php/what-is-digestate.html>>.
- 19 RAJNOŠEK, J.: *Flokulační zkoušky na úpravně vody Ostrava - Nová Ves*. diplomová práce. VŠB-TOU. Ostrava 2011.
- 20 HRABINOVÁ, Š.: *Studium hydrofobizačních vlastností vybraných flokulačních činidel* . diplomová práce. VŠB-TOU. Ostrava 2008.
- 21 *Koloid* [online] [cit. 2014-1-4]. Dostupné z WWW:<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Koloid>>

- 22 VOŠTRČIL, J., JURAČKA, F.: Organické flokulanty, studie a bibliografie. ČVTS – Dům techniky. Brno. 1973. 165 s.
- 23 BRATBY, J.: Coagulation and flocculation in Water and Wastewater Treatment. 2nd Edition. IWA Publishing. London UK. 2006. 407 s. ISBN 1843391066.
- 24 Brožůra *Flokulanty SOKOFLOK*. SOKOFLOK s.r.o.. Sokolov. Česká republika 2014
- 25 BINNIE, CH., KIMBER, M.: Basic water treatment. London: Thomas Telford Limited and IWA Publishing. 4th Edition ISBN 978-0-7277-3608-6.
- 26 HEVLENOVÁ, A.: Akrylamid. bakalářská práce. Masarykova univerzita. Brno 2009. Dostupné na WWW:<is.muni.cz/th/176854/lf_b/Bakalaska_prace_Akrylamid.doc>.
- 27 *More than you really want to know about polymers* [online]. Flocculants.info. [cit. 2014-1-4]. Dostupné na WWW:<http://www.flocculants.info/polymer-definitions.html>.
- 28 *Flocculant application for precipitation and dewatering*. [online]. Flocculants.info. [cit. 2014-1-4]. Dostupné na WWW:<http://www.flocculants.info/flocculant-applications.html>.
- 29 *Katalog produktů*. [online]. Euro-Šarm spol. s r.o.. [cit. 2014-1-4]. Dostupné na WWW:<http://www.eurosarm.cz/web/structure/uprava-vod-a-odpadu-36.html>.
- 30 *What Polymers Did For Us*. [online]. Environmental Dredging DPC. [cit. 2014-1-4]. Dostupné na WWW:<http://www.snf-group.com/images/pdf/publications/Article_DPC_OCT2011.pdf>.
- 31 *Schéma elektrické dvojvrstvy a zeta-potenciálu* [online]. Flotace nerostných surovin a odpadů. [cit. 2014-5-4]. Dostupné na WWW:<http://hgfl10.vsb.cz/546/Flotace/Obrázky/zeta_potencial.JPG>.
- 32 *Schéma hydratačního obalu* [online]. [cit. 2014-5-4]. Dostupné na WWW:<http://schools.ednet.ns.ca/avrsb/712/routlejo/Chemistry/chemclassnotes/solutions.htm>.
- 33 BENDA, V., BABŮREK, I., KOTRBA, P.: Základy biologie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 1.vyd. Praha 2006. ISBN 80-7080-587-0 Dostupné na WWW:<http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-587-0/pdf/018.pdf>.

- 34 SVORČÍK, V...: Polymery „stručně“. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Dostupné na WWW:<<http://www.vscht.cz/ipi/osobni/svorcik/Polymery.pdf>>.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Průběh fermentace [11]	3
Obrázek 2 Schéma elektrické dvojvrstvy a zeta-potenciálu [31].....	12
Obrázek 3 Schéma hydratačního obalu [32].....	13
Obrázek 4 Vzorec polyakrylamidu	17
Obrázek 5 příprava vzorku fugátu odstředěním, vlevo hladina naplnění kyvet, vpravo množství separátu.....	24
Obrázek 6 Příprava flokulačního činidla SOKOFLOK 109, pomocí magnetického míchadla.....	25
Obrázek 7 Flokulant SOKOFLOK 12 dávka, 30 ml, fugát ředěný 1:10	28
Obrázek 8 Flokulant SOKOFLOK 26, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	29
Obrázek 9 Flokulant SUPERFLOC c 496, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	29
Obrázek 10 Flokulant SOKOFLOK 56 GP, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	30
Obrázek 11 Flokulant SOKOFLOK 68, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	30
Obrázek 12 Flokulant SOKOFLOK 109, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	31
Obrázek 13 Flokulant SUPERFLOC c 475, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	32
Obrázek 14 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 15 ml, fugát ředěný 1:10	33
Obrázek 15 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 30 ml, fugát ředěný 1:10	33
Obrázek 16 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:1	35
Obrázek 17 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:2	36
Obrázek 18 Flokulant 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:3	36
Obrázek 19 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 50 ml, fugát ředěný 1:4	36

Obrázek 20 Flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	39
Obrázek 21 Stanovení sušiny, vlevo vstupní fugát, vpravo filtrát fugátu s flokulantem SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	40

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Limitní prvky pro použití digestátu jako hnojivo[18]	5
Tabulka 2 Možnosti použití flokulantů TRAMFLOC[28]	21
Tabulka 3 Srovnání hodnot $CHSK_{Cr}$ při použití různých flokulačních činidel	33
Tabulka 4 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:10	34
Tabulka 5 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, prvotní stanovení dávky	37
Tabulka 6 Hodnoty $CHSK_{Cr}$ flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, stanovení účinné dávky	38
Tabulka 7 Hodnoty BSK_5 flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	39
Tabulka 8 Hodnoty sušiny, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	40
Tabulka 9 Hodnoty dusičnanů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	41
Tabulka 10 Hodnoty amonných iontů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	41
Tabulka 11 Hodnoty dusitanů, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	41
Tabulka 12 Hodnoty celkového fosforu, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	41
Tabulka 13 Hodnoty výsledků z Laboratoř Morava, flokulant SOKOFLOK 61, dávka 85 ml, fugát ředěný 1:4	42
Tabulka 14 Souhrn výsledků a porovnání s výsledky z Laboratoře Morava	43

11 Seznam grafů



Graf 1 Srovnání výsledků CHSK _{Cr} při použití různých flokulačních činidel	34
Graf 2 Účinnost dávky flokulantu SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:10	34
Graf 3 Hodnoty CHSK _{Cr} pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, odhad dávky..	37
Graf 4 Hodnoty CHSK _{Cr} pro flokulant SOKOFLOK 61, fugát ředěný 1:4, upřesnění dávky	38

12 Seznam příloh

Příloha 1 Protokol o zkoušce č. 3508,3510/14 z Laboratoř MORAVA s.r.o.	51
---	----

Bc. Martin Kaňok: Testování vybraných flokulačních činidel při separaci tuhé fáze z fugátu

13 Přílohy

 	Laboratoř M O R A V A s.r.o. Oderská 456 742 13 Studénka Zkušební laboratoř č. 1266, akreditovaná ČIA E-mail: info@laborator-morava.cz Web: www.laborator-morava.cz Tel. 556 400 333, fax. 556 413 092 IČO: 25399951, DIČ: CZ 25399951	Zákazník: VŠB-TUO HGF 546-Institut environmentálního inženýrství 17. listopadu 15 708 33 Ostrava - Poruba
---	---	--

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 3508,3510/14
Výsledky rozborů

ÚDAJE O VZORCÍCH - tab. 1

číslo vz.	identifikace	datum odběru	hodina odběru	datum příjmu	datum analýz
3508	organická hmota	10.3.2014	neuvedeno	11.3.2014	11.3. - 20.3.2014
3510	voda	10.3.2014	neuvedeno	11.3.2014	11.3. - 17.3.2014

ÚDAJE O VZORCÍCH - tab. 2

číslo vz.	označení zákazníka	vzorek odebral	způsob odběru	č. prot. o odběru
3508	Vstup fugát	zákazník	neuvedeno	neuvedeno
3510	Výstup fugát	zákazník	neuvedeno	neuvedeno

VÝSLEDKY ANALÝZ

Ukazatel	č.vz. 3508	č.vz. 3510	jednotka	metoda
Amonné ionty	2600	259	mg/l	SOP 09 (ČSN ISO 7150) A
Dusitany	-----	<0,02	mg/l	SOP 11 (ČSN EN 26777) A
Dusičnany	<2,0	<2,0	mg/l	SOP 07 (ČSN ISO 7890-3) A
Dusík celkový	2510	227	mg/l	SOP 09 (ČSN ISO 7150) A
BSK 5	2400	13	mg/l	SOP 06 (ČSN EN 1899-1) A
CHSK Cr	24800	378	mg/l	SOP 05 (ČSN ISO 6060) A
Sušina	21500	1020	mg/l	SOP 32 B N
Fosfor	213	7,38	mg/l	SOP 10 (ČSN EN ISO 6878) A

Prohlášení: Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušeného předmětu. Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře nelze protokol reprodukovat jinak než celý.

Pozn.: SOP - standardní operační postup.

Č. prot. o odběru - číslo protokolu o odběru vzorku.

BSK 5 - biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech.

CHSK Cr - chemická spotřeba kyslíku dichromanem.

Protokol vyhotovil: Rozbrojová Jana
Schválil a za analýzy zodpovídá:

Dne: 20.3.2014
Mgr. Kerekešová Jana
Vedoucí zkušební laboratoře

Ve sloupci "Metoda" jsou akreditované subdodávky označeny písmeny S. Subdodavatel je uveden pod protokolem v poznámce.
Vlastní akreditované, resp. neakreditované zkoušky jsou v kolonce "Metoda" označeny písmenem A, resp. N.
Nejistoty jsou k dispozici na webových stránkách laboratoře, nebo jsou na vyžádání uváděny na zvláštní příloze k protokolu.

Příloha 1 Protokol o zkoušce č. 3508,3510/14 z Laboratoř MORAVA s.r.o.